Vormaterialbewertung und Auswahl des optimalen Halbzeugs als Teil einer Mensch-Maschine-Kommunikation zur Unterstützung von Zuteilungsprozessen in der Edelstahlindustrie

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors
der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften
(Dr. rer. pol.)

am Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fachbereich
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von
Mag. rer. soc. oec. H. Ö. Franz Pree
aus Ansfelden

1977

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548423_0002

Vormaterialbewertung und Auswahl des optimalen Halbzeugs als Teil einer Mensch-Maschine-Kommunikation zur Unterstützung von Zuteilungsprozessen in der Edelstahlindustrie

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors
der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften
(Dr. rer. pol.)

am Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fachbereich
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von

Mag. rer. soc. oec. H. Ö. Franz Pree

aus Ansfelden

Gedruckt mit Erlaubnis des Fachbereiches Wirtschafts- und Sozialwissenschaften der Friedrich Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Referent: Prof. Dr. Peter Mertens
Korreferent: Prof. Dr. Manfred Meyer
Promotionstermin: 19. 7. 1977

Inhaltsverzeichnis Seite

1. Allgemeine Problembeschreibung, Abgrenzung und Aufgabenstellung 1

1.1. Einleitung 1

1.1.1. Übersicht über die Fertigung 1
1.1.2. Übersicht über die Aufgaben der Abteilung Produktionsplanung 3

1.2. Probleme bei der Auftragsabwicklung 6

1.2.1. Bestimmung und Bewertung von Alternativen zur Deckung des Vormaterialbedarfs 6

1.2.1.1. Bestimmung und Bewertung von Qualitätsalternativen 6
1.2.1.2. Bestimmung und Bewertung von Abmessungsalternativen 9
1.2.1.3. Bewertung von Unterschieden zwischen Bestell- und Vormaterialmengen 10
1.2.1.4. Bewertung der Neuerschmelzungsalternative 11

1.2.2. Probleme bei Konkurrenzbeziehungen 11

1.2.2.1. Festlegung des Entscheidungszeitpunktes 13
1.2.2.2. Festlegung des Planungshorizontes 14
1.2.2.3. Überlegungen zum Ablauf der Entscheidungsfindung 15

1.3. Materialdisposition außerhalb der Auftragsabwicklung 18
1.4. Abgrenzung und Aufgabenstellung 19

1.4.1. Abgrenzung der Problembereiche und Problemlösungen 19
1.4.2. Allgemeine Aufgabenstellung 21

2. Einsatz der Mensch-Maschine-Kommunikation zur Disposition von Vormaterialbeständen 24

2.1. Globale Übersicht über das Dialogsystem 25
2.2. Beschreibung der Systembausteine 26

2.2.1. Qualitative Chargenauswahl 27
2.2.2. Verweilzeitprognose 28
2.2.3. Halbzeugberechnung und Vormaterialbewertung 29

2.3. Zusammenwirken der Systembausteine 30

3. Halbzeugberechnung und Vormaterialbewertung - Problembeschreibung 33

3.1. Besonderheiten der Halbzeugberechnung 33
3.2. Auftragsabwicklung im Administrationssystem unter besonderer Berücksichtigung quantitativer Aspekte 35

3.2.1. Technische Auftragserfassung - Betriebsauftragerstellung 35
3.2.2. Materialbedarfsplanung 37
3.2.3. Vormaterialzuteilung in der Produktionsplanung 38

3.2.3.1. Mengengerüst 38
3.2.3.2. Unterstützung der Vormaterialrecherche durch EDV-Einsatz 39
3.2.3.3. Entscheidungsablauf 41

3.3. Schwächen des Administrationssystems 42
3.4. Spezielle Aufgabenstellung 43

4. Halbzeugberechnung und Vormaterialbewertung - Problemanalyse 44

4.1. Problembereiche und Datenkategorien 44
4.2. Analyse und Struktur der entscheidungsrelevanten Mengendaten 45

4.2.1. Vormaterial- und Auftragsdaten 45

4.2.1.1. Vormaterialdaten 45
4.2.1.2. Auftragsdaten 48

4.2.2. Technologisch und qualitativ bedingte Restriktions- und Zuschlags- bzw. Materialverlustparameter 50

4.2.2.1. Walzrestriktionsdaten 50
4.2.2.2. Technologisch und qualitativ bedingte Zuschlags- und Verlustparameter 53

4.2.2.2.1. Mengenaspekte des Produktionsprozesses - Überblick 53
4.2.2.2.2. Spezielle Verlustparameter 57

4.2.2.2.2.1. Walzverlustfaktoren 57
4.2.2.2.2.2. Endenschrott 61
4.2.2.2.2.3. Revisionsfaktor 64
4.2.2.2.2.4. Arbeitsgangfaktoren 65

4.2.2.2.3. Parameterverknüpfung 65

4.3. Bewertung von Vormaterialaufteilungs- und -zuteilungsalternativen 69

4.3.1. Bewertung von Vormaterialaufteilungsalternativen 69

4.3.1.1. Grundsätzliche Möglichkeiten der Vormatsrialaufteilung 69
4.3.1.2. Komponenten der Bewertung 72

4.3.1.2.1. Bestimmung der entscheidungsrelevanten Komponenten 72
4.3.1.2.2. Wahl der Bezugsbasis für Kostenvergleiche 76
4.3.1.2.3. Analyse und Struktur der relevanten Kosten-komponenten bzw. Bewertungsansätze 77

4.3.1.2.3.1. Vormaterialkosten 78
4.3.1.2.3.2. Bearbeitungskosten 78
4.3.1.2.3.3. Umblockkosten 81
4.3.1.2.3.4. Aufteilkosten für Halbzeugstrang 84
4.3.1.2.3.5. Reine Fertigwalzkosten 84
4.3.1.2.3.6. Leerzeitkosten 88
4.3.1.2.3.7. Schneidekosten des Fertigmaterials 88
4.3.1.2.3.8. Schrotterlös 88

4.3.2. Bewertung von Zuteilungsalternativen 89

4.3.2.1. Bestimmung der relevanten Kostenkomponenten 89
4.3.2.2. Analyse und Struktur einiger relevanter Kostenkomponenten 94

4.3.2.2.1. Materialkosten 94

4.3.2.2.1.1. Grundsätzliche Überlegungen zur Berücksichtigung der Materialkosten 94
4.3.2.2.1.2. Wahl eines geeigneten Bewertungsansatzes 99

4.3.2.2.2. Transportkosten 102
4.3.2.2.3. Lagerkosten 103
4.3.2.2.4. Rücklieferkosten 104

5. Halbzeugberechnung und Vormaterialbewertung - Problemlösung 106

5.1. Abgrenzung und Globalbeschreibung 106

5.1.1. Abgrenzung zu bestehenden Lösungsansätzen 106
5.1.2. Globalbeschreibung des Lösungsvorschlages 107

5.1.2.1. Dateien des Systems 107
5.1.2.2. Überblick über die Lösungsmoduln 112

5.2. Lösung der einzelnen Problembereiche 113

5.2.1. Bestimmung der auftrags- und fertigungsabhängigen Parameter und Ausgangsdaten 113

5.2.1.1. Datenbereitstellung 113
5.2.1.2. Ermittlung auftragsabhängiger Ausgangswerte 116
5.2.1.3. Ermittlung fertigungsabhängiger Ausgangswerte 118

5.2.2. Ermittlung eines Richtwertes für die Vormaterialeinsatzmenge 123
5.2.3. Bestimmung einer optimalen Vormaterialaufteilungsalternative 125

5.2.3.1. Datenbereitstellung 126
5.2.3.2. Ermittlung vormaterialabhängiger Ausgangs- und Bewertungsdaten bzw. -parameter 127
5.2.3.3. Grundsätzliche Überlegungen zur Vormaterialaufteilung 129
5.2.3.4. Vormaterialaufteilung bei fixen Stablängen 134

5.2.3.4.1. Mengenrechnung 134
5.2.3.4.2. Bewertungsrechnung 147

5.2.3.5. Vormaterialaufteilung bei variablen Stablängen 152

5.2.3.5.1. Globale Beschreibung 152
5.2.3.5.2. Algorithmus zur Vormaterialaufteilung 157

5.2.3.6. Überlegungen zum Einsatz mathematischer Optimierungsverfahren zur Lösung des Aufteilungsproblems 173

5.2.4. Ermittlung der Zuteilungsalternative 175

5.2.4.1. Globalbeschreibung 175
5.2.4.2. Datenbereitstellung 176
5.2.4.3. Mengenrechnung 177
5.2.4.4. Bewertungsrechnung 184

5.2.4.4.1. Bewertung bei vollständiger Vormaterialverwendung 184
5.2.4.4.2. Bewertung bei Restanfall 186

5.2.5. Zuordnung unterschiedlicher Vormaterialien zu einem Auftrag 192

5.2.5.1. Problemstruktur 192
5.2.5.2. Kombination bei fixen Stablängen 193
5.2.5.3. Kombination bei variablen Stablängen 200

5.2.5.3.1. Spezielle Problembeschreibung 200
5.2.5.3.2. Grundsätzliche Lösungsmöglichkeiten 203
5.2.5.3.3. Beschreibung des realisierten Lösungsansatzes 205

5.3. Zur Auswahl der optimalen Zuteilungsalternative 208
5.4. Auswertung von Simulationsläufen 209

5.4.1. Rechenzeiten 209
5.4.2. Relevanz der Kostenkomponenten 210

6. Abwicklung der Vormaterialdisposition im Mensch-Maschine-Dialog 212

6.1. Datenbasis 212
6.2. Aufbau, Steuerung und Funktionen des Systems 213

6.2.1. Grundsätzliche Überlegungen zur Systemgestaltung 213
6.2.2. Aufbau und Steuerung des Systems 214
6.2.3. Funktionen des Systems 216

6.3. Entscheidungsablauf im Dialog 217

6.3.1. Wahl der Suchstrategie 217
6.3.2. Dialogablauf bei gemischter Strategie 220
6.3.3. Diagramm des Entscheidungsablaufs 231

7. Nutzeffektabschätzungen 239

8. Zusammenfassung 244

Anhang

Literaturverzeichnis

1. Allgemeine Problembeschreibung, Abgrenzung und Aufgabenstellung[1)]

1.1. Einleitung

Im folgenden werden die wichtigsten Probleme beschrieben, die sich der Abteilung "Produktionsplanung" eines Unternehmens der Edelstahlindustrie[2)] bei der Abwicklung von Kundenaufträgen stellen. Dabei wird versucht, diejenigen Aufgaben besonders herauszuarbeiten, von denen zu erwarten ist, daß sie bei allen Edelstahlherstellern auftreten. Dennoch kann nicht ausgeschlossen werden, daß bei anderen Unternehmen die Problemschwerpunkte anders gelagert sind.

Einschränkend ist festzustellen, daß sich die Darstellung hier auf die Abwicklung von Walzaufträgen bzw. auf die Disposition von gewalztem Vormaterial beschränkt und die speziellen Probleme, die sich bei Schmiedeaufträgen bzw. bei Schmiedematerial ergeben, nicht berücksichtigt werden.

1.1.1. Übersicht über die Fertigung

Die Herstellung von Walzprodukten erfolgt in der Regel in zwei Hauptfertigungsstufen:

---

1) Abschnitt 1. wurde in Zusammenarbeit mit H. D. Schönlein und M. Schröder im Rahmen des Forschungsprojektes "Mensch-Maschine-Kommunikation bei der betrieblichen Entscheidungsvorbereitung" (Informatik-Forschungsgruppe VIII der Universität Erlangen-Nürnberg) erstellt.

2) Bei Edelstahl handelt es sich im Vergleich zu Massenstahl um Stahlqualitäten, deren Eigenschaften in analytischer, technologischer und verarbeitungstechnischer Hinsicht besonderen Kundenanforderungen unterliegen (vgl. o. V., Definition von Edelstahl, Stahl und Eisen 92 (1972) 15, S. 725).

In der ersten Fertigungsstufe wird der Stahl im Stahlwerk durch Schrott- und Roheiseneinsatz erschmolzen und entweder in Kokillen verschiedener Größe oder in einem Strang (Stranggußanlage) abgegossen. Für Kundenaufträge bereits verplantes Material wird in Tieföfen warm gehalten, um dann in einer Hitze auf Block- und Halbzeugstraße auf einsetzbare Knüppel (Halbzeug) ausgewalzt und zwischengelagert zu werden. Nichtverplantes Material wird entweder im Rohblockformat oder nach der Zwischenwalzung auf der Blockstraße in Form von Vorblöcken gelagert.

Die zweite Fertigungsstufe besteht in der Weiterverarbeitung des zwischengelagerten Materials in zweiter Hitze, d. h. nach Wiederaufwärmen in sogenannten Stoßöfen auf den Walzstraßen. Ist der Querschnitt des zu verarbeitenden Vormaterials größer als der für die Fertigwalzung erforderliche bzw. zulässige, dann muß vor der Fertigwalzung noch eine Zwischenwalzung durchgeführt werden. In diesem Fall erfolgen in der Regel beide Walzungen einhitzig.

Das Zwischenlager, welches diese beiden Fertigungsstufen trennt, das sogenannte Vormateriallager, enthält also Vormaterial in Form von Roh- und Vorblöcken sowie Halbzeug verschiedener Abmessungen.

Ein Teil des Vormaterials ist, wie bereits erwähnt, auf Kundenaufträge verplant (kommissioniertes Material), ein weiterer Teil ist für erwartete Kundenaufträge auf Lager gelegt worden (vorkommissioniertes Material). Der Rest ist mehr oder weniger zwangsweise während des Produktionsprozesses angefallen (nicht-kommissioniertes Material, ungewollte Bestände).

Die Entstehung dieser ungewollten Bestände ist in der Regel auf folgende Faktoren zurückzuführen:

- Die Fertigungslosgrößen im Stahlwerk liegen wesentlich über den durchschnittlichen Auftragslosgrößen, so daß immer wieder sogenannte Chargenrestmengen anfallen, die bis zur Wiederverwendung gelagert werden.

- Erschmolzene Chargen können nicht für die Aufträge verwendet werden, für die sie vorgesehen waren, weil die geforderte chemisch-analytische Zusammensetzung nicht erreicht wurde. Man spricht in diesem Fall von Fehlchargen, die ebenfalls auf Lager gehen.

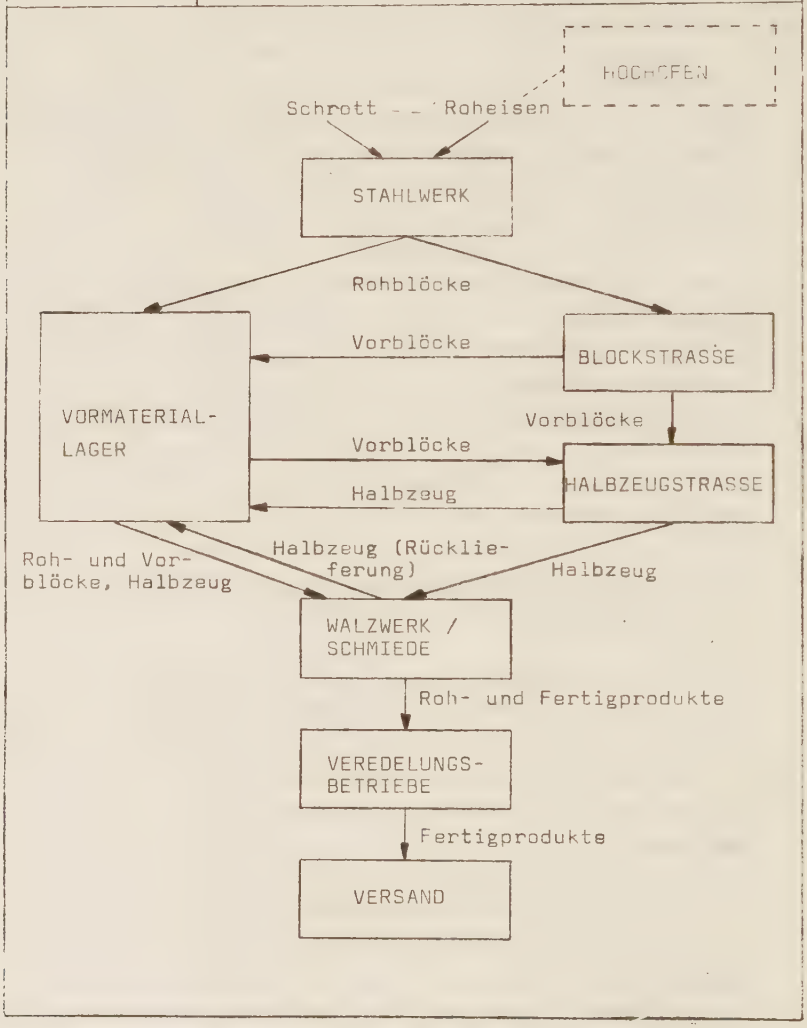
- Aus dem Walzwerk wird Vormaterial an das Lager zurückgeliefert, da es aus fertigungstechnischen Gründen, z. B. wegen Walzenbruchs, nicht ordnungsgemäßer Vorbehandlung usw., nicht eingesetzt werden kann oder aufgrund geringer Auftragsgröße als Rest anfällt (Rücklieferungen).

Die Stellung des Vormateriallagers im Produktionsablauf zeigt die Abbildung 1.1.1./1 in vereinfachter Form.

1.1.2. Übersicht über die Aufgaben der Abteilung Produktionsplanung

Die wichtigste Aufgabe der Abteilung Produktionsplanung besteht darin, die für die Abwicklung von Kundenaufträgen notwendige Fertigungskapazität und das erforderliche Einsatzmaterial termingerecht bereitzustellen. Da das Walzprogramm wegen der hohen Umrüstkosten weitgehend fest vorgegeben ist, wird als erstes der Termin für die Fertigwalzung festgelegt. Davon ausgehend wird geprüft, ob das bis zu diesem Zeitpunkt benötigte Vormaterial entweder durch eine Neuerschmelzung oder aus Lagerbeständen bereitgestellt werden kann. Wenn dies der Fall ist, werden Schmelzkapazität oder Lagermaterial reserviert und der Liefertermin bzw. der Auftrag bestätigt. Andernfalls muß die Fertigwalzung zeitlich verschoben oder der Auftrag abgelehnt werden.

Abb. 1.1.1./1	Stellung des Vormateriallagers im Materialfluß (stark vereinfacht)



Die Herstellkosten für Edelstahl liegen bei vielen Marken über 2.000 DM/Tonne. Ungewollte Bestände stellen durch ihre hohe Kapitalbindung einen erheblichen Kostenfaktor dar und verringern die Liquidität des Unternehmens. Diese Kosten lassen sich reduzieren, indem man die Lagerbestände möglichst schnell wieder dem Produktionsprozeß zuführt. Um dieses Ziel zu erreichen, prüft die Produktionsplanung sowohl bei der Auftragseinplanung als auch vor der endgültigen Entscheidung über eine Neuerschmelzung, ob der Vormaterialbedarf des Auftrages aus Lagerbeständen gedeckt werden kann. Dabei tritt jedoch häufig das Problem auf, daß zwar Lagermaterial für einen bestimmten Auftrag verwendbar ist, dadurch aber Kosten verursacht werden (z. B. durch zusätzliche Arbeitsgänge oder durch Verwendung einer besseren als der vom Kunden geforderten Qualität), die bei einer Neuerschmelzung und Verwendung des Vormaterials für einen anderen Auftrag u. U. nicht entstehen würden.

Bei der Einplanung der Kundenaufträge bzw. des entsprechenden Vormaterialbedarfs in das Schmelzprogramm wird angestrebt, daß jede Charge bereits bei der Erschmelzung komplett für Kundenaufträge verplant ist (Chargenkompletttierung). Wenn dies nicht gelingt, dann muß entweder auf eine kleinere Losgröße ausgewichen und eine Erhöhung der Schmelzkosten in Kauf genommen werden (Problem der Größendegression), oder es entstehen nicht-kommissionierte Restmengen, die zu lagern sind und dadurch Kosten verursachen.

Neben der Auftragsabwicklung hat die Produktionsplanung die Aufgabe, die Verwendungsmöglichkeiten von Lagerzugängen festzustellen und die Lagerbestände dahingehend zu überprüfen, ob dafür Kundenaufträge innerhalb eines bestimmten Zeitraumes zu erwarten sind. Wenn das nicht der Fall ist, wird das Material verschrottet.

1.2. Probleme bei der Auftragsabwicklung

In Abschnitt 1.2.1. werden Probleme beschrieben, die auftreten können, wern die verschiedenen Möglichkeiten zur Deckung des Vormaterialbedarfes von Kundenaufträgen zu bestimmen und zu beurteilen sind (vgl. Abbildung 1.2./1). Dabei wird an dieser Stelle bewußt nur die Strukturierung der einzelnen Problembereiche angesprochen, nicht jedoch die zur Zeit in der Praxis geübte Art der Problemlösung.

Abschnitt 1.2.2. behandelt einige spezielle Probleme, die mit der Abgrenzung des Entscheidungsfeldes und dem Ablauf der Entscheidungsfindung verbunden sind.

1.2.1. Bestimmung und Bewertung von Alternativen zur Deckung des Vormaterialbedarfs

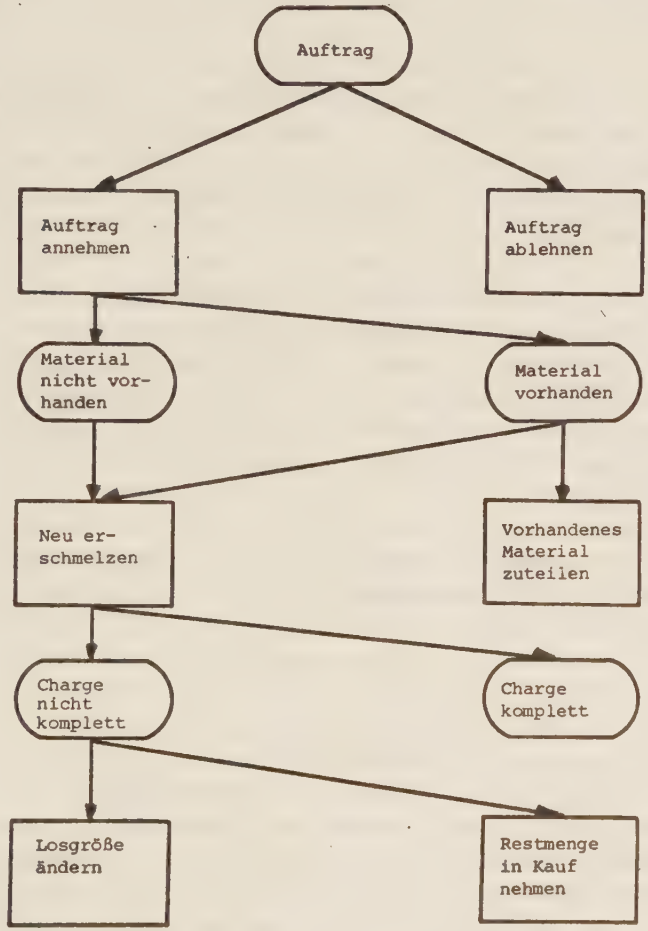
1.2.1.1. Bestimmung und Bewertung von Qualitätsalternativen

Für die Qualitätseigenschaften von Edelstahl gibt es mehrere nationale Normsysteme. Diese Normen betreffen die chemische Zusammensetzung und physikalischen Eigenschaften des Edelstahls. Die Normvorgaben werden durch Grenzwerte für die chemische Analyse (Analyseband) und durch andere Kennzahlen für physikalische Eigenschaften, wie z. B. Zugfestigkeit, Kerbschlagzähigkeit u. ä., ausgedrückt.

Das Erzeugnisprogramm der Edelstahlhersteller besteht aus einer Vielzahl von Werksmarken, deren Qualitätsmerkmale nur zum Teil mit den oben genannten Normvorgaben übereinstimmen.

Bestellt ein Kunde in einer Normvorschrift, für die entweder keine Werksmarke vorhanden ist oder die nicht genau mit den Qualitätsmerkmalen einer Werksmarke übereinstimmt, muß die Qualitätsstelle eine Modifizierung der Werksmarke entsprechend den Normvorgaben durchführen. Eine Anpassung

Abb. 1.2./1 Entscheidungsmöglichkeiten bei der Auftragsabwicklung



an Kundenvorgaben ist auch dann erforderlich, wenn der Kunde bei verschiedenen chemischen Elementen einer Marke spezielle Werte wünscht. Dies geschieht in der Regel durch Modifizierung des Analysebandes (Analysenrestriktion).

Stellt sich heraus, daß ein Kunde wiederholt nach der gleichen im Werk nicht geführten Normvorschrift bestellt oder die gleichen von der Werksmarke abweichenden Qualitätsanforderungen in anderer Form - z. B. durch den Zusatz eines bestimmten chemischen Elementes - stellt, dann wird für diesen Kunden eine eigene Marke definiert.

Jedoch auch die Unterteilung der Werksmarken in Untermarken bzw. in Kundenmarken reicht nicht aus, um die Vielzahl der unterschiedlichen Qualitätswünsche abzudecken. Daher müssen auch diese Qualitätsvarianten durch zusätzliche Vorgaben ergänzt werden, die vorwiegend die chemische Analyse, darüber hinaus aber auch physikalische Eigenschaften des Vormaterials betreffen.

Andererseits bewirkt die große Anzahl von Werksmarken, daß zwischen vielen Marken eine Ähnlichkeit besteht, die es unter Umständen gestattet, Vormaterial aus einer anderen als der im Kundenauftrag geforderten Werksmarke zuzuteilen.

Die Produktionsplanung steht nun vor der Aufgabe, für jeden Kundenauftrag die in Frage kommenden Werksmarken zu bestimmen und die Vormaterialbestände dahingehend zu überprüfen, ob sie Chargen enthalten, die den speziellen Qualitätsanforderungen entsprechen. Wenn Vormaterial zugeteilt werden soll, das in seinen Qualitätseigenschaften die Kundenanforderungen übertrifft, dann müssen die durch die Abwertung des Materials verursachten Kosten bestimmt werden. Darüber hinaus sind die verschiedenen Risiken zu kalkulieren und zu bewerten (Kundenverärgerung, Garantien, Ausfall bei der Walzung), die damit verbunden sind, daß eine andere als die ursprünglich im Auftrag geforderte Marke zugeteilt wird.

1.2.1.2. Bestimmung und Bewertung von Abmessungsalternativen

Für die Verwendbarkeit von Vormaterial für einen Kundenauftrag ist neben seinen Qualitätseigenschaften die Abmessung (Querschnitt und Länge) entscheidend.

Es gibt für jede Fertigabmessung zumindest eine Vormaterialabmessung, die bezüglich der Kapazitätsauslastung der Fertigstraße und des beeinflußbaren Materialverschnitts optimal ist. Die Bestimmung dieser Abmessung ist Aufgabe der Produktionsplanung (Walzwerksplanung). Wenn kein Vormaterial mit dieser Abmessung im Bestand der qualitativ zulässigen Chargen ist, müssen diejenigen Vormaterialpositionen bestimmt werden, deren Abmessungen für die Fertigwalzung zumindest zulässig sind. Nicht zulässig sind alle Vormaterialpositionen, deren Abmessungen unter den für die Fertigwalzung erforderlichen Mindestmaßen in Anstichquerschnitt und Einsatzlänge liegen. Andere Vormaterialpositionen sind unter technologischen Gesichtspunkten grundsätzlich als verwendbar anzusehen, da sie durch zusätzliche Verformungsarbeitsgänge auf die erforderlichen Abmessungen gebracht werden können.

Allerdings sind dem Einsatz des Vormaterials unter wirtschaftlichen Aspekten durch die verursachten Kosten Grenzen gesetzt. Es ist durch umfangreiche Berechnungen festzustellen, welche Vormaterialposition die geringsten Kosten bewirkt, wenn sie für den vorliegenden Auftrag verwendet wird. Dabei sind u. a. der Aufwand für zusätzliche Arbeitsgänge, die Verminderung der Walzleistung an der Walzstraße und der Materialverschnitt zu berücksichtigen. Bei voll ausgelasteter Kapazität der Walzaggregate sind darüber hinaus noch Opportunitätskosten für entgangene Deckungsbeiträge anzusetzen, wenn durch die Verwendung von ungünstiger Vormaterialabmessung die Ausbringung verringert wird.

1.2.1.3. Bewertung von Unterschieden zwischen Bestell- und Vormaterialmenge

Reicht die Menge einer Vormaterialposition nicht zur Dek-kung des Vormaterialbedarfs eines Kundenauftrages aus, dann ist zu prüfen, ob die erforderliche Menge durch Zusammenlegung von Vormaterial aus verschiedenen Chargen und/oder Abmessungen erreicht werden kann. Diese Vorgehensweise ist allerdings nur unter bestimmten Voraussetzungen möglich. Außerdem wird durch die Verwendung von Vormaterial unterschiedlicher Abmessung in einer Walzung zusätzlicher Arbeitsaufwand verursacht.

Wenn die Bestellmenge durch keine der bisher beschriebenen Möglichkeiten erreicht werden kann, ist zu entscheiden, ob nur die Fehlmenge oder der gesamte Vormaterialbedarf durch Neuerschmelzung gedeckt werden soll. Im ersten Fall besteht die Möglichkeit, daß das neuerschmolzene Material in seinen Qualitätseigenschaften nicht mit denen des lagernden Vormaterials übereinstimmt und daher nicht eingesetzt werden kann. Im zweiten Fall werden Lagerkosten dadurch, daß verwendbares Vormaterial bis zur nächsten Einsatzmöglichkeit gelagert werden muß, hervorgerufen.

Für den Fall, daß die Bestellmenge eines Auftrages kleiner als die Vormaterialmenge ist, wird die Position durch eine Zuteilung gesplittet. Liegt die dabei entstehende Restmenge unter der durchschnittlichen Auftragsgröße, dann treten die oben beschriebenen Probleme mit höher Wahrscheinlichkeit zu einem späteren Zeitpunkt auf.

Die Produktionsplanung hat theoretisch die Aufgabe, die vorhandenen Möglichkeiten zu bestimmen und die dabei zu erwartenden Kosten abzuschätzen.

1.2.1.4. Bewertung der Neuerschmelzungsalternative

Der Vormaterialbedarf eines Kundenauftrages muß durch Neuerschmelzung gedeckt werden, wenn im letztmöglichen Dispositionszeitpunkt (vgl. Abschnitt 1.2.2.1.) kein verwendbares Lagermaterial vorrätig ist. Ist die Bestellmenge kleiner als die Chargengröße des dafür optimalen Schmelzaggregates und liegen im Entscheidungszeitpunkt keine Schmelzaufträge für diese Qualität vor, dann entsteht nicht-kommissioniertes Restmaterial, das bei seiner Lagerung in der Zukunft Kosten verursacht. Wird hingegen auf ein kleineres Schmelzaggregat ausgewichen, dann entstehen in der Regel höhere Erschmelzungskosten.

Sollte Restmaterial anfallen, dann müssen die voraussichtliche Lagerdauer dieses Materials bis zu seinem Wiedereinsatz und die dabei entstehenden Lagerkosten abgeschätzt und in die Entscheidung, ob ein Auftrag in dieser Situation angenommen werden kann, miteinbezogen werden.

Darüber hinaus kann grundsätzlich immer im Rahmen der Dispositionsentscheidung die Alternative "Neuerschmelzung" den Kosten einer Zuteilung beim Einsatz von Lagermaterial gegenübergestellt werden.

1.2.2. Probleme bei Konkurrenzbeziehungen

Die im folgenden beschriebenen Probleme treten dann auf, wenn zwei oder mehrere Aufträge vorhanden sind und

- entweder der Vormaterialbedarf eines Auftrages durch zumindest zwei verschiedene Vormaterialpositionen gedeckt (Konkurrenz von Vormaterialien um einen Auftrag)

- oder eine Vormaterialposition für zumindest zwei verschiedene Aufträge verwendet (Konkurrenz von Aufträgen um ein Vormaterial)

werden kann. Unter diesen Voraussetzungen hat das Entscheidungsfeld die Form einer Matrix:

Abb. 1.2.2./1	Entscheidungsfeld				
	V(1)	V(2)	V(3)	.....V(N)	V(S)
A(1)	j	j	n		j
A(2)	n	j	j		j
⋮ A(M)	n	j	j		j

In den Zeilen der Matrix sind alle Aufträge des Auftragsbestandes enthalten (A(1), A(2), ..., A(M)), deren Vormaterialbedarf sich zumindest durch eine der Vormaterialpositionen (V(1), V(2), V(3), ..., V(N)) des Lagerbestandes decken läßt. Matrixelemente sind zulässige (j) und unzulässige (n) Zuordnungen zwischen Aufträgen und Vormaterialpositionen (j = ja, n = nein).

In der letzten Matrixspalte V(S) ist die Möglichkeit dargestellt, den Vormaterialbedarf eines Kundenauftrages durch Neuerschmelzung zu erfüllen.

Abgesehen von diesen Ausnahmen gilt für alle in der Matrix enthaltenen Zuordnungsmöglichkeiten, daß durch ihre Realisierung zumindest eine der übrigen ausgeschlossen wird. Dimension und Inhalt dieser Matrix sind von dem

Zeitpunkt abhängig, zu dem die Zuteilungsalternativen bestimmt werden (vgl. Abschnitt 1.2.2.1.). Eine Begrenzung der im Entscheidungsfeld berücksichtigten Aufträge kann durch die Festlegung des Planungshorizontes erreicht werden (vgl. Abschnitt 1.2.2.2.). Die Möglichkeiten, die Vormaterialdisposition simultan für mehrere Aufträge durchzuführen, werden im Abschnitt 1.2.2.3. untersucht.

1.2.2.1. Festlegung des Entscheidungszeitpunktes

Eine endgültige Entscheidung darüber, wie der Vormaterialbedarf eines bestimmten Kundenauftrages gedeckt werden soll, muß spätestens dann getroffen sein, wenn die Zeitspanne bis zum vorgegebenen Walztermin gleich dem Zeitbedarf für die Vorbereitung des Vormaterials auf die Fertigwalzung ist (Zwischenblocken, Oberflächenbehandlung, Transportzeiten etc.).

Durch diese Vorlaufzeit ist der spätestmögliche Entscheidungszeitpunkt vorgegeben. Gleichzeitig ist damit auch das Entscheidungsfeld hinsichtlich des Vormaterialbestandes abgegrenzt, da später eintreffende Neuzugänge wegen der erforderlichen Vorlaufzeit nicht mehr für den Kundenauftrag verwendbar sind.

Bei der Festlegung des Entscheidungszeitpunktes tritt folgendes Optimierungsproblem auf:

- Je später die endgültige Dispositionsentscheidung getroffen wird, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, daß das Entscheidungsfeld vollständig ist und daher die tatsächlich kostenminimale Alternative realisiert werden kann. Da jedoch eine exakte Festlegung der notwendigen Vorlaufzeit nicht möglich ist[1] und darüber hinaus unvorhersehbare Zwischenfälle (z. B. Ausfall des

[1] Die auftragsindividuelle Vorlaufzeit ist u. a. von der Beschaffenheit des Vormaterials abhängig.

Vormaterials beim Zwischenblocken) auftreten können, erhöht sich damit die Gefahr, daß das Vormaterial nicht rechtzeitig bereitgestellt werden kann.

- Dieses Risiko ist um so geringer, je früher eine Entscheidung darüber getroffen wird, wie der Vormaterialbedarf gedeckt werden soll. Dadurch erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, daß das Entscheidungsfeld unvollständig ist und daher eine falsche Entscheidung getroffen wird. Allerdings besteht hier die Möglichkeit, die Entscheidung zu korrigieren, wenn sich wesentliche Änderungen im Entscheidungsfeld ergeben. Dafür ist jedoch ein zusätzlicher Planungsaufwand nötig.

Aus diesen Ausführungen ist ersichtlich, daß bereits die Wahl des Entscheidungszeitpunktes sowohl die Qualität der Entscheidungsfindung als auch den dafür erforderlichen Aufwand beeinflußt.

1.2.2.2. Festlegung des Planungshorizontes

Durch die Wahl des Zeitpunktes, zu dem endgültig über die Deckung des Vormaterialbedarfs entschieden wird, ist auch der Auftragsbestand festgelegt, der bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt werden kann. Da jedoch die Vormaterialbedarfszeitpunkte der im Auftragsbestand enthaltenen Kundenaufträge bis zu 12 Monate in der Zukunft liegen können, stellt sich die Frage, ob der sich dadurch bietende Planungshorizont auch voll ausgenützt werden soll. Es ist zu berücksichtigen, daß der für die Abwicklung eines Kundenauftrages zulässige Planungsaufwand durch die Kapazität der Produktionsplanung begrenzt ist. Durch die Festlegung des Planungshorizontes wird die Anzahl der im Entscheidungsfeld enthaltenen Aufträge determiniert.

Die Größe des Entscheidungsfeldes beeinflußt wiederum den Aufwand, der für eine einzelne Dispositionsentscheidung notwendig ist. Die Anzahl der Dispositionsentscheidungen bis zur endgültigen Verplanung des Auftrages hängt

von der Wahl des Entscheidungszeitpunktes ab. Je früher erstmalig disponiert wird, desto mehr Planrevisionen können erforderlich sein. Sind nun der Entscheidungszeitpunkt und der für die Abwicklung eines Kundenauftrages zulässige gesamte Planungsaufwand festgelegt, dann ist durch die Anzahl der im Entscheidungsfeld enthaltenen Aufträge eine obere Grenze für den Planungshorizont vorgegeben. Abgesehen vom Planungsaufwand ist bei der Festlegung des Planungshorizontes noch zu berücksichtigen, daß eine Vergrößerung nicht zwingend auch zu einer Verbesserung der Entscheidungsfindung führt: Je weiter der Vormaterialbedarfszeitpunkt eines Auftrages in der Zukunft liegt, um so größer ist die Wahrscheinlichkeit, daß sich bis zum endgültigen Dispositionszeitpunkt noch Änderungen im Entscheidungsfeld ergeben.

1.2.2.3. Überlegungen zum Ablauf der Entscheidungsfindung

Bei den folgenden Überlegungen wird davon ausgegangen, daß das Entscheidungsfeld - wie in Abbildung 1.2.2./1 skizziert - als Matrix vorliegt.

Sowohl die durch eine Realisierung von Zuordnungen im Vergleich zur Neuerschmelzung zusätzlich verursachten Kosten als auch die bei Nichtverwendung und weiterer Lagerung zu erwartenden Kosten seien bereits bestimmt worden. Weiterhin wird angenommen, daß der Vormaterialbedarf für alle Aufträge bis zum gleichen Zeitpunkt zu decken sei[1]. Durch eine Bewertung der zulässigen Zuordnungen mit den Differenzen der beiden oben genannten Kostenarten ergibt sich beispielsweise die in Abbildung 1.2.2.3./1 dargestellte Entscheidungsmatrix.

---

[1] Wenn die Vormaterialbedarfszeitpunkte von Aufträgen in der Zukunft liegen(vgl. Abschnitt 1.2.2.2.), sind bei der Bewertung auch die bis dahin aufgelaufenen Lagerkosten zu berücksichtigen.

Abb. 1.2.2.3./1		Beispiel für eine Entscheidungsmatrix bei Konkurrenz von Aufträgen um Vormaterial			
	V(1)	V(2)	V(3)	V(4)	V(5)
A(1)	-3	-2	n	n	o
A(2)	n	n	-1	n	o
A(3)	-5	n	n	+5	o
A(4)	n	+3	-6	n	o

Bei der Bewertung der Neuerschmelzungsalternative wurde vereinfachend angenommen, daß keine Restmengen und damit auch keine zusätzlichen Kosten zu erwarten sind. In der Praxis wird bei der Auftragsabwicklung nur in Einzelfällen versucht, bei Dispositionsentscheidungen den Vormaterialbedarf für mehrere Aufträge zu berücksichtigen oder die bei der Splittung entstehenden Restpositionen sofort für andere Aufträge zu verplanen. Im Regelfall werden die Dispositionsentscheidungen sequentiell für die einzelnen Aufträge getroffen, d. h., daß jeweils nur eine Zeile der Entscheidungsmatrix bestimmt und bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt wird.

Anhand des oben dargestellten Beispiels läßt sich für die Aufträge A(1) und A(3) einfach zeigen, daß bei dieser Vorgehensweise das Kostenminimum verfehlt wird. Bei sequentieller Auftragsabwicklung würde man die Zuordnung A(1) - V(1) realisieren. Der Vormaterialbedarf für A(3) müßte dann neu erschmolzen werden. Es wäre jedoch wesentlich günstiger (Ersparnis von 4 Geldeinheiten) gewesen, V(2) für A(1) und V(1) für A(3) zu verwenden.

Fehldispositionen dieser Art können dadurch vermieden werden, daß die Auftragsabwicklung simultan für alle im

Entscheidungsfeld enthaltenen Aufträge durchgeführt wird. Dieses Zuordnungsproblem, bei dem die Anzahl der Vormaterialpositionen in der Regel größer ist als die Anzahl der Aufträge, läßt sich mit Methoden des Operations Research, z. B. mit Methoden aus der Graphentheorie oder der Linearen Programmierung[1] lösen. Es ist auch leicht eine Rückführung der Problemstruktur auf die Standardform des Transportmodells möglich[2].

Die Zuordnungen sind so festzulegen, daß Vormaterial für alle Aufträge rechtzeitig verfügbar ist und die Summe der entscheidungsrelevanten Kosten minimiert wird.

Bei dieser Vorgehensweise ist mit folgenden Problemen zu rechnen:

- Es müssen alle zwischen Aufträgen und Vormaterial möglichen Zuordnungen bestimmt und bewertet werden. Wenn die Vormaterialbedarfszeitpunkte von Aufträgen in der Zukunft liegen, sind die Berechnungen bei jeder Änderung im Entscheidungsfeld zu wiederholen (zur Problematik der Festlegung des Entscheidungsfeldes vgl. die beiden vorangegangenen Abschnitte).

- Der Aufwand für die Entscheidungsvorbereitung erhöht sich darüber hinaus, wenn Vormaterialpositionen aufgrund von Auftragsgrößen, die kleiner sind als die Vormaterialmenge, gesplittet werden müssen. Dabei können verschiedene Aufteilungen möglich sein. Die für diese Restpositionen vorhandenen Zuteilungsmöglichkeiten sind zu bestimmen und zu bewerten.

- Ähnliche Probleme treten auf, wenn Vormaterial für zwei oder mehrere Aufträge neu erschmolzen werden

---

[1] Vgl. hierzu z. B. Müller-Merbach, H., Operations Research, 3. Aufl., München 1974, S. 175, 276 f und 334 ff.

[2] Vgl. hierzu z. B. Meyer, M., Hansen, K. und Rohde, M., Mathematische Planungsverfahren I, Essen 1973, S. 78 ff.

soll: Die Höhe der dabei zu erwartenden Restmengen bzw. Kosten hängt davon ab, welche der möglichen Aufträge in das Schmelzprogramm aufgenommen werden. Die Bewertung der Neuerschmelzungsalternativen setzt in diesem Fall voraus, daß Schmelzplanung und Vormaterialdisposition simultan durchgeführt werden.

- Schließlich ist noch zu beachten, daß die in der Entscheidungsmatrix enthaltenen Kostendifferenzen mit Unsicherheiten behaftet sein können (z. B. Erwartungswerte für Lagerkosten).

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die Simultanbetrachtung im Vergleich zur sequentiell durchgeführten Auftragsabwicklung mit Sicherheit zu einer Vervielfachung des Aufwandes für die Vormaterialdisposition führt. Hingegen ist es fraglich, ob dadurch eine Verbesserung der Entscheidungsfindung in einem Ausmaß erzielt werden kann, das den Aufwand rechtfertigt, der im Vergleich zur sequentiellen Auftragsabwicklung erforderlich ist.

1.3. Materialdisposition außerhalb der Auftragsabwicklung

Die hier beschriebenen Planungsaktivitäten, die im folgenden unter dem Begriff "Aktivierung" zusammengefaßt werden, sind dadurch gekennzeichnet, daß der Planungsprozeß im Vergleich zur Auftragsabwicklung in umgekehrter Richtung verläuft und ausgehend vom Vormaterial nach geeigneten Verwendungsmöglichkeiten gesucht wird.

Diese Aktivierung ist für diejenigen Vormaterialpositionen erforderlich, die deswegen nicht bereits bei der Auftragsabwicklung disponiert wurden, weil ihre Entstehung zu dieser in keinem erkennbaren Zusammenhang steht (z. B. Rücklieferungen aus dem Walzwerk). Darüber hinaus muß Vor-

material dann neu disponiert werden, wenn aufgrund seiner Lagerdauer erkennbar ist, daß die der ursprünglichen Dispositionsentscheidung zugrunde gelegten Erwartungen über die zukünftigen Verwendungsmöglichkeiten nicht zutreffen. Wenn für diese Vormaterialpositionen geeignete Aufträge vorhanden sind, werden die gleichen Überlegungen wie bei der Auftragsabwicklung angestellt (vgl. Abschnitt 1.2.). Andernfalls wird geprüft, ob nicht durch eine sofort durchgeführte Verschrottung, die praktisch zu jedem Zeitpunkt möglich ist, geringere Kosten als durch die weitere Lagerung des Materials verursacht werden. Die dabei zu erwartenden Lagerkosten sind den Verschrottungskosten, die im Zeitablauf annähernd konstant[1] sind, gegenüberzustellen.

Abgesehen von der Richtung des Planungsprozesses bzw. dem Anlaß für Dispositionsentscheidungen und der Möglichkeit einer Verschrottung sind zwischen der Auftragsabwicklung und der Aktivierung keine prinzipiellen Unterschiede zu sehen.

1.4. Abgrenzung und Aufgabenstellung

1.4.1. Abgrenzung der Problembereiche und Problemlösungen

Eine erste Einengung des Forschungsgebietes wurde bereits indirekt bei der globalen Problemanalyse vorgenommen. Es standen Probleme, die bei der Disposition von Lagerbeständen auftreten, deutlich im Vordergrund.

Unberücksichtigt blieb die gesamte Problematik, die mit der physischen Lagerung des Vormaterials verbunden ist (Stoffflußerfassung, Bestandsführung, Optimierung von Transportwegen und Lagerorten etc.).

---

[1] Bei hochlegierten Edelstahlqualitäten kann der Fall auftreten, daß die Verschrottungskosten wegen Änderungen in den Preisen für Legierungsbestandteile (z. B. Cr, Ni) schwanken.

Die zweite wesentliche Einschränkung bestand darin, daß Probleme der Walzwerksplanung, wie z. B. die Gestaltung des Walzprogramms[1] mit den damit zusammenhängenden Problemen der optimalen Walzlosgrößen[2], der Sortenschaltung[3], der Kaliberwechsel und Probewalzungen[4] etc., nur zum Teil untersucht und die Gegebenheiten als nicht beeinflußbar angesehen wurden.

Die Integration der Walzwerksplanung in die Vormaterialdisposition würde dazu führen, daß Walztermin und/oder Walzprogramm bzw. Walzfolge nicht mehr als fest vorgegeben betrachtet werden können. Es müßten die mit einer Verschiebung des Walztermins und/oder Abänderung der Walzfolge verbundenen Kosten bestimmt und ebenso wie die bisher genannten Kostenarten der Entscheidungsfindung zugrunde gelegt werden[5]. Jedoch wurden dieser Vorgehensweise von seiten der Praxis nur geringe Realisierungs- bzw. Erfolgschancen zugemessen.

Schließlich wurde auch die Stahlwerksbelegung von der näheren Untersuchung ausgeklammert. Aufgrund der Tatsache, daß die Sortenfolge hier praktisch frei wählbar ist, steht im Vordergrund der Planungsaktivitäten das Bestreben, die Aufträge so in das Schmelzprogramm einzuplanen, daß möglichst geringe Restmengen (Chargenkomplettierungsbestände) entstehen.

Die dabei denkbaren Schwierigkeiten sind eine Untermenge derjenigen Probleme, die bei der simultanen Auftragsabwicklung auftreten.

---

1) Oberhofer, A. F., Wartmann, R. und Steinecke, V., Zur optimalen Programmplanung konkurrierender Profil- und Feinstahlstraßen zweiter Hitze, Stahl und Eisen 89 (1969) 22, S. 1249 ff.

2) Billen, H.-H., Sandhöfer, K.-H. und Steinecke, V., Der Einfluß der Walzlosgröße auf die Umwandlungskosten vollkontinuierlicher Feinstahlstraßen, Zeitschrift für Betriebswirtschaft 35 (1965), Ergänzungsheft, S. 53 ff.

3) Mertens, P., Industrielle Datenverarbeitung, Band 1, Administrations- und Dispositionssysteme, 2. Aufl., Wiesbaden 1972, S. 199 ff.

4) Bormann, D., a.a.O., S. 14 ff.

5) Vgl. zu dieser Problematik Krebs, P., Optimierung der Belegung verschiedener Walzstraßen mit Hilfe der EDV, Diplomarbeit, TH München 1969.

Bei den in den Abschnitten 2., 5. und 6. beschriebenen Systemen wird jeweils nur ein Teil des Entscheidungsfeldes (eine Zeile der Entscheidungsmatrix) berücksichtigt. Dieser vereinfachenden Vorgehensweise liegt die Annahme zugrunde, daß der durch einen formalisierten Simultanansatz zusätzlich erzielbare Nutzen in keinem wirtschaftlich vertretbaren Verhältnis zu dem erforderlichen Aufwand steht.

In Abschnitt 1.3. wurde gezeigt, daß auch außerhalb der Auftragsabwicklung eine Vielzahl von Planungsaktivitäten notwendig ist. Dabei geht der Planungsprozeß vom Vormaterial aus und verläuft in umgekehrter Richtung; dem Prinzip nach sind aber die gleichen Überlegungen wie bei der Auftragsabwicklung durchzuführen. Daher wird in den weiteren Ausführungen auf die für die Aktivierung von Vormaterial erforderlichen Planungsaktivitäten nicht mehr näher eingegangen.

Abbildung 1.4.1./1 zeigt eine Übersicht über die erkannten Problembereiche und deren Lösungsmöglichkeiten.

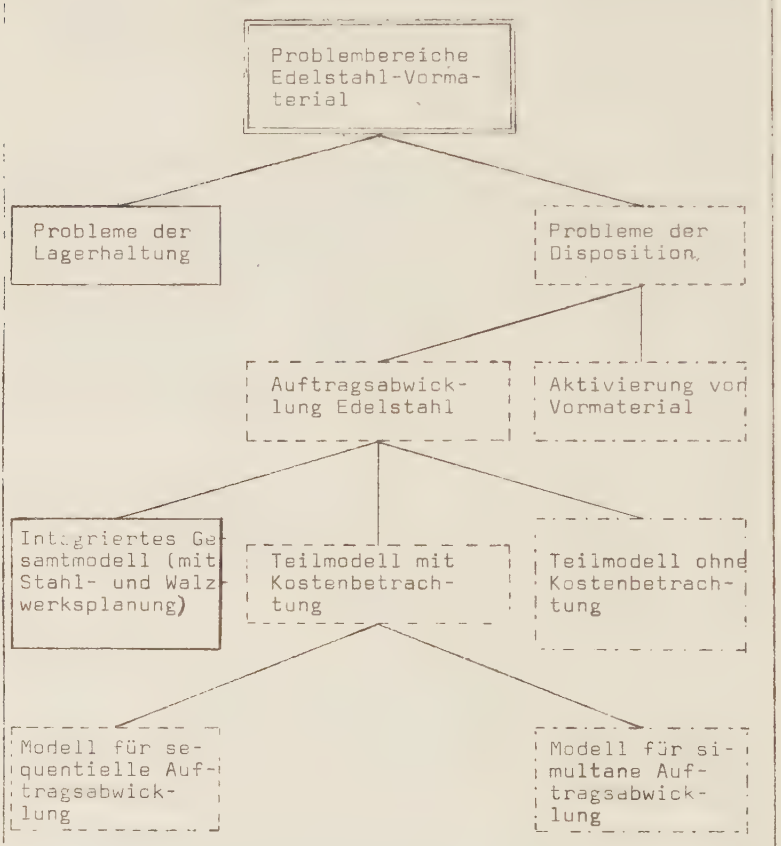
1.4.2. Allgemeine Aufgabenstellung

Das Unternehmen, in dem die Problemanalyse durchgeführt wurde, verwaltete ursprünglich die Vormaterialbestände mit Hilfe sogenannter Chargenkarten, die in "Karteiträgen" abgelegt und nach Markenbegriffen sortiert waren. Auf diesen Chargenkarten waren zum einen die für Dispositionszwecke notwendigen qualitativen Daten einer Charge, zum anderen aber auch die quantitativen, d. h. abmessungsbezogenen Daten jedes einzelnen Bestandes einer Charge festgehalten. Seit 1972 erfolgt die Verwaltung der Vormaterialbestände mit Hilfe der EDV. Alle Daten sind auf Magnetplatten gespeichert und können on-line über Bildschirm abgerufen werden.

---

1) Siehe hierzu Autorengruppe (Bermann, R., Mertens, P., Pree, F., Van Recum, L., Rosenkranz, R., Ruppenthal, R., Saynisch, H. J., Schönlein, D. H., Schröder, M., Szielasko, H., Weber, K., Zierau, H.J. und Zwirner, H.), Einsatz der Mensch-Maschine-Kommunikation zur Verwaltung von Edelstahl-Vormaterialbeständen - Teil I, Angewandte Informatik 16 (197[illegible]) 6, S. 269 ff.

Abb. 1.4.1./1 Übersicht über Problembereiche und Lösungsmöglichkeiten



Legende:

——————— Problembereich hier nicht untersucht

- - -·-·-·- Problem analysiert, aber nicht weiter verfolgt

---------- Problembereich untersucht und Lösungsvorschläge entwickelt

Der Einsatz dieses Systems führte zu einer erheblichen Rationalisierung der Administrationsarbeiten und zu erhöhter Transparenz der vorhandenen Lagerbestände, die schließlich eine Bestandssenkung - verbunden mit erheblichen quantifizierbaren Nutzeffekten - bewirkte.

Das implementierte Administrationssystem erlaubte im wesentlichen nur eine rasche Informationswiedergewinnung. Bei der Bestimmung von Marke, Abmessung und Menge der für einen Kundenauftrag geeigneten Vormaterialpositionen wurde der Disponent in keiner Weise vom System her unterstützt. Ebenso wurde er bei der Ermittlung und Bewertung verschiedener Zuteilungsmöglichkeiten, vor allem aber bei der Festlegung der günstigsten Zuteilungsalternative nicht unterstützt.

Es lag daher nahe, in einer zweiten Ausbaustufe das bestehende System zu einem computerunterstützten Dispositionssystem auszubauen. In diesem Zusammenhang wurde von einem Projektteam der Informatik-Forschungsgruppe VIII der Universität Erlangen-Nürnberg[1] der in Abschnitt 2. global beschriebene Lösungsvorschlag erarbeitet. Das Ziel dieses Lösungsvorschlages bestand letztlich darin, die EDV sowohl bei der Bestimmung von Zuteilungsalternativen als auch bei deren Bewertung einzusetzen und dadurch eine wesentliche Verbesserung der Entscheidungsfindung zu erreichen. Ein wesentlicher Baustein dieses Systemvorschlags ist die Halbzeugberechnung und Vormaterialbewertung.

---

[1] Das Team bestand aus den Mitarbeitern P.Mertens, F.Pree, H. D. Schönlein, M. Schröder und H. Zwirner.

2. Einsatz der Mensch-Maschine-Kommunikation zur Disposition von Vormaterialbeständen

Bereits die globale Problemanalyse hat gezeigt, daß eine vollständige Automatisierung der für optimale Zuteilungsentscheidungen erforderlichen Aktivitäten nicht möglich ist. Viele Einflußfaktoren sind schlecht oder nicht programmierbar, der Ablauf des Entscheidungsprozesses ist von Zwischenergebnissen abhängig und kann daher nicht generell festgelegt werden. Schließlich kann der Mensch in vielen Fällen aufgrund seiner Erfahrung und/oder Intuition schneller zu einer besseren Entscheidung gelangen als dies durch den Einsatz der EDV möglich ist. Bei dieser Problemstruktur ist der Einsatz der Mensch-Maschine-Kommunikation (im folgenden mit MMK abgekürzt) zweckmäßig bzw. entsprechenden manuellen oder vollautomatischen Lösungen überlegen[1]. Dabei sucht der Rechner die Daten, führt verschiedene Vergleichsoperationen und Berechnungen durch und präsentiert ein Zwischenergebnis zur Begutachtung. Der Mensch ist aufgrund seiner speziellen Fähigkeiten und der ihm verfügbaren Hintergrundinformationen in der Lage, dieses Ergebnis zu interpretieren und über den nächsten Schritt, der wiederum vom Rechner durchgeführt wird, zu entscheiden.

Bezüglich der Realisierung des in diesem Abschnitt beschriebenen Gesamtsystems ist festzustellen, daß es sich hier um ein umfassendes Denkmodell handelt, für dessen Anwendung in dem untersuchten Unternehmen heute zum Teil noch nicht die Voraussetzungen gegeben sind. Dies gilt aber nicht für die einzelnen Teilmodelle, die bereits vollständig (Qualitative Chargenauswahl, Abschnitt 2.2.1.) oder teilweise (Verweilzeitprognose, Abschnitt 2.2.2.)

---

[1] Vgl. dazu Mertens, P. und Kress, H., Mensch-Maschinen-Kommunikation als Hilfe bei Entscheidungsvorbereitung und Planung, Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung 22 (1970) 1, S. 9 ff. und Schröder, M., Die Einsatzmöglichkeiten der Mensch-Maschinen-Kommunikation in der Lagerdisposition der Edelstahlindustrie, Diplomarbeit, Linz 1970.

realisiert sind oder deren Realisierbarkeit in einer Laborversion (Halbzeugberechnung und Vormaterialbewertung, Abschnitte 2.2.3. und 5.) nachgewiesen ist.

2.1. Globale Übersicht über das Dialogsystem

Das Ziel des Disponenten besteht in jedem Fall darin, für einen Kundenauftrag das "günstigste" Vormaterial zu verwenden. Welche Vormaterialposition aber tatsächlich als die günstigste angesehen werden kann, ist schwierig zu beantworten, da u. U. sehr viele und unterschiedliche Faktoren zu berücksichtigen sind. Beispielsweise kann der Fall eintreten, daß bei einer Zuteilungsentscheidung folgende Einflußfaktoren gegeneinander abzuwägen sind:

- Zusätzliche Bearbeitungskosten bei Einsatz von Lagermaterial,
- Leistungsminderung an den Walzaggregaten,
- Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls bei der Walzung durch Verwendung von Ersatzmaterial,
- Gefahr der Kundenverärgerung bei Lieferung von Material aus verschiedenen Chargen oder Marken,
- verhinderte Lagerkosten bei Einsatz von Lagermaterial.

Da es sich dabei zum Teil um nicht oder nur schlecht programmierbare Einflußgrößen handelt, muß letzten Endes der Mensch Zulässigkeit und Zweckmäßigkeit der Zuteilungsalternativen beurteilen. Hingegen ist es Aufgabe des Rechners, den Disponenten bei der Bestimmung der Vormaterialalternativen zu unterstützen und die Entscheidungsfindung durch Aussagen über quantifizierbare Einflußgrößen zu verbessern.

Die für die Zuteilungsentscheidung relevanten Einflußgrössen haben unterschiedliche Dimensionen. Daher können sie nur über eine Bewertung miteinander kombiniert bzw. verglichen werden. Als Vergleichsmaßstab werden die durch die

einzelnen Faktoren verursachten Kosten verwendet.

Unter "Zuteilungskosten" werden in den weiteren Ausführungen diejenigen Kosten verstanden, die man direkt der Entscheidung zurechnen kann, den Vormaterialbedarf eines Auftrages durch eine bestimmte Vormaterialposition zu decken.

Wesentliche Bestandteile dieses Entscheidungskriteriums sind u. a. Material- und Bearbeitungskosten sowie die verhinderten Lagerkosten[1].

Bei der Bestimmung der Kosten für eine Neuerschmelzung sind theoretisch neben den Herstellkosten auch Lagerkosten für Komplettierungsbestände zu berücksichtigen.

Für die Unternehmensleitung bietet das hier beschriebene System den Vorteil, daß es sich durch Veränderung von Parametern den im Zeitablauf unterschiedlichen Zielsetzungen anpassen läßt.

So kann beispielsweise bei geringer Liquidität der Lagerkostensatz erhöht werden. Dadurch läßt sich erreichen, daß Lagermaterial schneller wieder in den Produktionsprozeß eingesetzt wird. Eine Erhöhung des Kostensatzes für die Walzzeiten führt schließlich dazu, daß Halbzeug bevorzugt wird, welches die Walzkapazität möglichst gut auslastet. Dadurch werden gleichzeitig die Kosten für Verschnitt relativ schwächer berücksichtigt.

2.2. Beschreibung der Systembausteine

Das System besteht aus den Bausteinen "Qualitative Chargenauswahl", "Verweilzeitprognose" sowie "Halbzeugberechnung und Vormaterialbewertung". Diese Bausteine sind als Teilprogramme konzipiert und werden an verschiedenen Stellen des Entscheidungsablaufes eingeschaltet.

---

[1] Vgl. dazu die Ausführungen in Abschnitt 4.3.2.

2.2.1. Qualitative Chargenauswahl[1)]

Dieser Systembaustein ermöglicht es dem Disponenten, mit geringem Zeitaufwand alle Chargen zu bestimmen, die für einen bestimmten Kundenauftrag qualitativ zulässig sind. Dieses Problem der Informationswiedergewinnung wird - wie in der Praxis bereits realisiert - mit Hilfe eines Thesaurus gelöst, der für jede Marke sämtliche Ersatzmarken und Austauschqualitäten enthält. Unter Ersatzmarken werden diejenigen Marken verstanden, deren Analysebänder sich mit dem Analyseband der gesuchten Marke (Basismarke) vollständig oder teilweise in allen vorgegebenen Elementen überdecken (numerische Substitution). Als Ausweichqualität wird eine Stahlmarke bezeichnet, deren Analyseband keinen gemeinsamen Durchschnitt mit dem der Basismarke bildet, die aber wegen gleicher physikalischer Eigenschaften anstelle der Basismarke für bestimmte Kundenaufträge verwendet werden kann (technologische Substitution)[2)].

Für eine im Kundenauftrag geforderte Marke sind jedoch nur diejenigen Chargen von Ersatzmarken zulässig, deren Ist-Analysen innerhalb des gemeinsamen Durchschnittes der entsprechenden Analysebänder liegen. Diese formale Zulässigkeitsprüfung wird ebenfalls von dem Systembaustein für alle Chargen von Ersatzmarken durchgeführt. Die Chargen von Austauschqualitäten, deren Ist-Analysen ex definitione außerhalb des gemeinsamen Durchschnittes liegen, müssen vom Disponenten auf Zulässigkeit geprüft werden.

---

1) Vgl. dazu Schönlein, D. H., Qualitative Chargenauswahl als Teil einer Mensch-Maschine-Kommunikation zur Unterstützung von Zuteilungsprozessen in der Edelstahlindustrie, Dissertation, Nürnberg 1974.

2) In den folgenden Ausführungen wird als gemeinsamer Überbegriff für Ersatzmarken und Austauschqualitäten die Bezeichnung "Substitutionsmarke" verwendet.

2.2.2. Verweilzeitprognose[1]

Ein wesentlicher Bestandteil der Zuteilungskosten sind die Lagerkosten[2]. Für die Zuteilungsentscheidung sind nicht die bis zum Entscheidungszeitpunkt angefallenen, sondern die Kosten relevant, die bei Nichtverwendung des Vormaterials erwartet werden (zukunftsorientierte Kostenbetrachtung).

Die Abschätzung der zukünftigen Lagerkosten erfordert Aussagen über die zu erwartenden Verweilzeiten von Vormaterial im Lager. Bei der großen Zahl der täglich zu bearbeitenden Vormaterialpositionen ist die Ermittlung der Verweilzeit durch den Disponenten zu aufwendig. Daher wurde das System mit dem Baustein "Verweilzeitprognose" ausgestattet. Die Aufgabe dieses Systembausteins besteht darin, die zukünftige Lagerdauer bzw. den voraussichtlichen Wiederverwendungszeitpunkt in Abhängigkeit von Marke, Abmessung und Menge des Vormaterials zu prognostizieren und zu speichern.

Wenn das Modell nicht in der Lage ist, Vorhersagewerte mit der geforderten Genauigkeit zu berechnen, weil beispielsweise zu wenig Vergangenheitsdaten vorliegen, muß der Disponent die Verweilzeit abschätzen. Dabei wird er jedoch durch speziell aufbereitete Statistiken über Vergangenheitsdaten, die ihm der Rechner auf Anforderung zur Verfügung stellt, unterstützt.

---

[1] Vgl. dazu Schröder, M., Einsatz der Mensch-Maschinen-Kommunikation in der Edelstahlindustrie - Disposition von Vormaterialbeständen und Prognose der Verweilzeit, Dissertation, Nürnberg 1974.

[2] Vgl. hierzu auch Bormann, C., Die Lagerhaltung von Walzstahlfertigerzeugnissen und ihr Einfluß auf Produktion, Absatz und Ergebnis, Dissertation, Berlin 1969, S. 46 ff.

2.2.3. Halbzeugberechnung und Vormaterialbewertung[1)]

Dieser Systembaustein erfüllt mehrere Aufgaben bei der Bestimmung und Bewertung von Zuteilungsalternativen.

Zunächst wird unabhängig vom Vormaterialbestand als Richtwert für die Vormaterialrecherche unter Berücksichtigung verschiedener Zuschlagsparameter die Mindest-Halbzeugmenge errechnet, die zur Deckung eines Kundenauftrages erforderlich ist. Diese Größe ist ein erster grober Filter für mengenmäßig unzureichende Chargen.

Darüber hinaus wird geprüft, ob die Abmessungen von lagerndem Vormaterial für den Kundenauftrag unter fertigungstechnischen Gesichtspunkten geeignet, d. h. zulässig sind.

Den Hauptteil dieses Moduls bilden Algorithmen, die unter Verschnitt- und Walzkostengesichtspunkten die Errechnung des günstigsten Umblockvorschlages erlauben. Ein derartiger Umblockvorschlag enthält z. B. Angaben, wie ein auf Lager befindlicher Vormaterialposten durch einen zusätzlichen Walzvorgang auf den Halbzeugstraßen in Querschnitt und Länge umgeformt werden muß, damit er bei der Fertigwalzung eines bestimmten Auftrages eingesetzt werden kann. In einem weiteren Teil werden die entscheidungsrelevanten Zuteilungskosten, wie z. B. Material-, Bearbeitungs-, Verschnitt-, Walz- und Lagerkosten, für jede Zuteilungsalternative ermittelt und einander gegenübergestellt.

Schließlich kann dieser Baustein - besonders bei kleineren Vormaterialpositionen - noch zur Ermittlung zulässiger und optimaler Kombinationsmöglichkeiten in den Dimensionen unterschiedlicher Vormaterialien herangezogen werden.

---

1) Vgl. hierzu die detaillierten Ausführungen der Abschnitte 4. und 5.

2.3. Zusammenwirken der Systembausteine

Der gesamte Entscheidungsablauf bei der Zuteilung wird in Form eines Dialoges zwischen dem Menschen und dem Computer durchgeführt. Der Disponent kann bei der Recherche nach geeignetem Vormaterial verschiedene "Suchstrategien", wie z. B.

- Suchen in der Basismarke,
- Suchen in Substitutionsmarken,
- Chargenzusammenlegung (Vormaterialkombination) in der Basismarke,
- Chargenzusammenlegung (Vormaterialkombination) in den Substitutionsmarken,
- Chargenzusammenlegung in Basismarke und Substitutionsmarken ("gemischte Strategie"),

wählen.

Innerhalb dieser Strategien werden abwechselnd die einzelnen Systembausteine eingesetzt.

In der Regel beginnt der Disponent die Suche nach Vormaterial in der vom Kunden geforderten Marke (Basismarke). Als erstes berechnet der Baustein "Halbzeugberechnung" die für den Auftrag erforderliche Mindest-Halbzeugmenge und die Kosten für eine Neuerschmelzung. Wenn Komplettierungsbestände anfallen, wird der Baustein "Verweilzeitprognose" zur Bestimmung ihrer voraussichtlichen Lagerdauer eingeschaltet.

Hat der Kunde für die Analysenwerte in bestimmten Elementen Einschränkungen gemacht (Analysenrestriktionen), dann werden Routinen des Bausteins "Qualitative Chargenauswahl" für den Vergleich der Ist-Analysen der Chargen mit diesen Analysenvorgaben eingesetzt.

Wenn qualitativ zulässige Bestände gefunden worden sind, prüft der Baustein "Halbzeugberechnung", ob und wie der Auf-

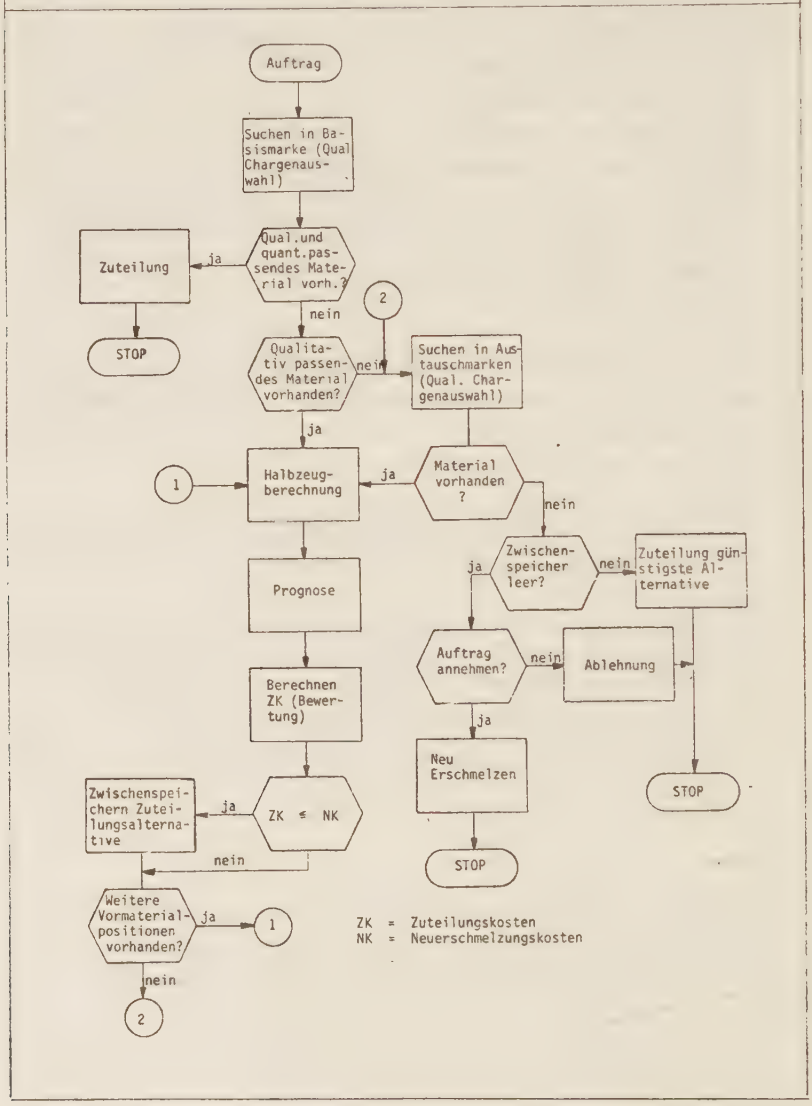
trag aus diesen Beständen bedient werden kann. Wenn ja, wird mit Hilfe des Bausteins "Verweilzeitprognose" die voraussichtliche Lagerdauer abgeschätzt und die Zuteilungsalternative als Ganzes bewertet. Sind die Zuteilungskosten kleiner als die Neuerschmelzungskosten, dann wird das Ergebnis zwischengespeichert. Findet der Disponent in der Basismarke keinen zuteilbaren Bestand, bestimmt man mit Hilfe des Bausteins "Qualitative Chargenauswahl" die eventuell vorhandenen Substitutionsmarken dieser Basismarke. Wenn z. B. Austauschmarken zulässig sind, werden automatisch die Chargen ausgewählt, deren Ist-Analysen im Überlappungsbereich liegen und die zusätzlichen Kundenrestriktionen erfüllen.

Die Programme der Systembausteine werden in den Suchstrategien nicht in starrer Reihenfolge, sondern in Abhängigkeit von den jeweiligen Ergebnissen und der gewünschten weiteren Vorgehensweise eingesetzt.

Abbildung 2.3./1 zeigt schematisch das Zusammenwirken der Systembausteine im Entscheidungsablauf.

Ein ausführliches Beispiel eines Entscheidungsablaufes wird in Abschnitt 6. beschrieben.

Abb. 2.3./1 Zusammenwirken der Systembausteine im Entscheidungsablauf (stark vereinfacht)



3. Halbzeugberechnung und Vormaterialbewertung - Problembeschreibung

3.1. Besonderheiten der Halbzeugberechnung

Das Problem der Halbzeugberechnung und damit auch der Vormaterialbewertung hat für den Edelstahlbereich des untersuchten Unternehmens aus folgenden Gründen erhebliche Bedeutung[1]:

(1) Die Fein- und Mitteleisenstraßen, auf die sich die Problemanalyse in erster Linie bezog, zeichneten sich zum Untersuchungszeitpunkt durch einen geringen Automatisierungsgrad - es handelt sich um Revesier-Walzgerüste älteren Datums - mit relativ geringer Leistungsfähigkeit aus.

So sind z. B. wegen der kurzdimensionierten Auslaufräume bei den einzelnen Walzgerüsten und den z. T. fehlenden Querschleppern zwischen den einzelnen Walzgerüsten, die einen manuellen Transport der Walzadern während des Walzprozesses bedingen, bei der Fertigwalzung in der Regel nur relativ kleine Knüppel[2] einsetzbar, wodurch die Disposition erschwert wird.

(2) Das Fertigungsprogramm dieser Walzstraßen zeigt im Vergleich zu hochautomatisierten Walzstraßen der Massenstahlproduktion ein qualitativ und quantitativ umfangreiches Produktionsspektrum mit im Durchschnitt geringen Auftragsgrößen. Es wurde festgestellt, daß die Auftragsmengen überwiegend zwischen zwei- und drei Tonnen liegen und aufgrund der kundenspezifischen Fertigproduktabmessungen kaum größere, ohne Unterbrechnung walzbare Dimensionslose gebildet werden können. Diese Tatsache hat zur Folge, daß beinahe nach jedem Walzauf-

---

[1] Vgl. zur allgemeinen Situation der Edelstahlindustrie Wünnemann, H., Ausbringens- und Leistungsverbesserung an Profilstraßen durch Erstellen eines Optimierungsprogramms, Stahl und Eisen 89 (1969) 20, S. 1112 f.

[2] Die Begriffe Knüppel und Halbzeug werden in den folgenden Ausführungen synonym gebraucht.

trag eine - wenn auch in der Regel kurzfristige - Unterbrechung für Umstellungsarbeiten an den Kalibern der Walzgerüste[1] erfolgt.

(3) Zur Erfüllung der qualitativen Kundenanforderungen kann beispielsweise bei der Walzung eines Produktes die fertigungstechnische Restriktion gelten, daß während des Walzprozesses das gerade bearbeitete Produkt nicht um nicht mehr als 150° abkühlen darf. Diese Anforderung läßt sich z. B. nur erfüllen, wenn der Walzvorgang innerhalb einer bestimmten Zeit abgeschlossen wird. Die Folge davon ist (qualitativ bedingt) der Einsatz relativ kurzen Halbzeugs.

(4) Die in (2) und (3) genannten Gesichtspunkte führen zwangsläufig dazu, daß die unproduktiven Zeitanteile

- Nutzungsnebenzeit für Umstell- und Umbauarbeiten und
- Leer- bzw. "Tot"zeiten zwischen den einzelnen Knüppeleinsätzen während des Walzprozesses

im Verhältnis zur reinen Walzzeit sehr hoch sind, wodurch letztlich die Leistungsfähigkeit der Walzstrassen, bezogen auf die Durchsatzmenge pro Zeiteinheit, noch mehr verschlechtert wird.

Als Folge der in (1) bis (4) genannten betriebsindividuellen Gegebenheiten und des im allgemeinen hohen Materialwertes stellt sich der Abteilung Produktionsplanung bei der Auftragsabwicklung u. a. die Aufgabe, für jeden Walzauftrag in Abhängigkeit

- von den mengen- und abmessungsbezogenen Auftragsdaten,
- den fertigungstechnischen Restriktionsdaten und
- den Dimensions- und Abmessungsdaten qualitativ zulässiger Vormaterialien

---

[1] Vgl. dazu auch Kahnis, W., Probleme der Produktionsplanung für eine Stabstahlstraße, Dissertation, Clausthal 1971, S. 16 ff.

die für die Fertigwalzung "günstigste" Knüppel- bzw. Halbzeugmenge und -abmessung zu ermitteln[1]. Dabei ist rechnerisch der zweistufige Walzprozeß

- Vormaterial --► Knüppel für Fertigwalzung (= Umblokken) und
- Knüppel --► Fertigprodukte (= Fertigwalzung)

nachzuvollziehen.

Abbildung 3.1./1 zeigt anhand eines schematischen Beispiels die während des Walzprozesses durchzuführenden Verformungs- und Aufteilungsphasen.

3.2. Auftragsabwicklung im Administrationssystem unter besonderer Berücksichtigung quantitativer Aspekte

3.2.1. Technische Auftragserfassung - Betriebsauftragserstellung

Die Kundenaufträge werden in der Vertriebsabteilung erfaßt und an die technische Auftragsbearbeitung weitergeleitet. Dort werden - ausgehend von den kundenspezifischen qualitativen, mengen- und abmessungsbezogenen Anforderungen - die betriebstechnischen Qualitäts- und Fertigungsvorschriften abgeleitet. Die geforderten Qualitätseigenschaften führen zur Festlegung der Werksmarke, die evtl. noch durch Analysenrestriktionen eingeengt wird, sowie der erforderlichen Erschmelzungs- und Abgußart, und u. U. zu speziellen Zusatzarbeitsgängen, wie z. B. Flämmen des Vormaterials, Glühen der Fertigprodukte u. ä. (siehe dazu Abschnitt 4.2.2.2.2.4.).

Ausgehend von Fertigprofil und -abmessung wird der Betriebsauftrag entsprechend dem vorhandenen Walzprogramm

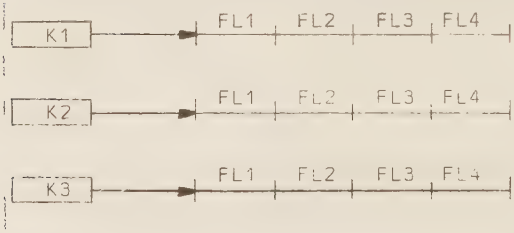
---

[1] Bei hochautomatisierten Walzstraßen, insbesondere solchen der Massenstahlproduktion, werden in der Regel die Produktabmessungen standardisiert und bei der Fertigwalzung Knüppel mit Standardlängen (z. B. 5,2 m, 6 m) eingesetzt, so daß sich dort die hier erforderlichen z. T. umfangreichen Berechnungen weitgehend vermeiden oder vereinfachen lassen. (Vgl. dazu Krebs, P., a.a.O., S. 75 ff.).

Abb. 3.1./1	Prinzip der Vormaterialaufteilung

Phase 1: Zwischenwalzung (Umblocken) mit Aufteilung in Knüppel

Phase 2: Fertigwalzung mit Aufteilung in Walzstäbe



Legende:

VM	= zulässiges Vormaterial
K1, K2, ...	= einsetzbare Knüppel
FL1, FL2,...	= Fertigprodukte
VS	= Verschnitt beim Umblocken

einer Walzgruppe zugeordnet und eine Normwalzfolge festgelegt. Diese Normwalzfolge bezieht sich auf einen bestimmten Rohblocktyp und umfaßt alle Walzaggregate sowie die Vormaterial- und Knüppelquerschnittsabmessungen (= Anstichquerschnitte), die das Produkt vom Rohblock bis zu seiner Fertigwalzung zu durchlaufen hat.

Als nächstes werden in Abhängigkeit vom gewünschten Kundenliefertermin und dem weitgehend fest vorgegebenen Walzzyklus der Fertigwalztermin[1] und davon ausgehend durch Rückwärtsterminierung die restlichen durchzuführenden Arbeitsgänge ermittelt und im Betriebsauftrag festgehalten.

3.2.2. Materialbedarfsplanung

In der Produktionsplanung erfolgt im Anschluß daran mit Hilfe eines Mini-Computers die Ermittlung der Vormaterialeinsatzmenge. Anhand der im Betriebsauftrag angegebenen Walzfolge sowie der Walzstraße und -gruppe werden aus Tabellen

- die bei der Neuerschmelzung abzugießende Vormaterialdimension (Rohblockart oder Strangguß einer bestimmten Länge) und

- die Walzrestriktionsdaten der Fertigwalzung[2] (Anstichquerschnitt, minimale und maximale Knüppellänge)

abgelesen und zusammen mit den mengen- und abmessungsbezogenen Auftragsdaten in den Rechner eingegeben. Dieser ermittelt unter Berücksichtigung eines globalen walzstraßen- und bestellmengenabhängigen Zuschlagsparameters, der eventuelle Ausfälle abdecken soll, die Anzahl der für diesen Auftrag zu erschmelzenden Rohblöcke und eine Umblockanweisung.

---

[1] Die Einplanung eines Walzauftrages im für die Auslieferung relevanten Walzzyklus wird bei normaler Konjunkturlage keine Terminschwierigkeiten bereiten, da es sich meist um langfristige Kundenaufträge handelt, bei denen zwischen Auftragseingang und Liefertermin bis zu zwölf Monate liegen und die Dauer eines Walzzyklusses nur ca. sechs Wochen beträgt. Für den Fall, daß dennoch einmal keine freien Walzkapazitäten zur Verfügung stehen, muß die Fertigstellung des Auftrages vorgezogen (Lagerkosten bis zum Liefertermin), mit Zustimmung des Kunden in die Zukunft verschoben oder abgelehnt werden.

[2] Siehe dazu Abschnitt 4.2.2.1.

Letztere enthält für das Walzwerk Angaben, auf welchen Querschnitt und auf welche Knüppellänge das erschmolzene Vormaterial zwischenzuwalzen ist, damit es bei der Fertigwalzung eingesetzt werden kann.

Das implementierte Aufteilungsverfahren wählt dabei von maximal zehn verschiedenen Aufteilungsmöglichkeiten die verschnittminimale aus.

Da zu diesem Zeitpunkt und an diesem Ort nicht bekannt ist, ob bei der Zuteilung tatsächlich die in der Normwalzfolge vorgesehene Vormaterialdimension zum Einsatz kommt, wird zusätzlich noch eine zweite, auf den Daten einer anderen Rohblockdimension beruhende Zuteilungsalternative errechnet. Beide werden in den Betriebsauftrag (Materialbereitstellungskarte) als Vormaterial- und Halbzeuganforderung eingetragen und dienen als Ausgangsbasis für den später durchzuführenden eigentlichen Zuteilungsprozeß.

3.2.3. Vormaterialzuteilung in der Produktionsplanung

Die primäre Aufgabe der Disponenten in der Produktionsplanung besteht darin, nach Möglichkeit lagernde Vormaterialien zuzuteilen, oder, wenn dies nicht möglich ist, eine Neuerschmelzung zu veranlassen[1]. Dabei sind im wesentlichen die vorhandenen Lagerbestände auf passende Qualitäten und Abmessungen hin zu überprüfen (Vormaterial-Recherche).

3.2.3.1. Mengengerüst

Die täglich von den Sachbearbeitern zu bewältigende Auftragsmenge im Edelstahlbereich bewegt sich in Abhängigkeit von der konjunkturellen Lage zwischen 200 und 250 Aufträgen, wobei ca. 60 % der Aufträge durch Lagerbestände gedeckt

---

[1] Zu den Problemen, die dabei grundsätzlich auftreten können, vergleiche Abschnitt 1.2.1.

werden, während für 40 % der erforderliche Materialbedarf nur durch Neuerschmelzungen befriedigt werden kann[1].

Ungefähr einem Drittel der Aufträge, die sich durch lagernde Vormaterial bedienen lassen, wird mehr als eine einzige Vormaterialposition zugeteilt. Dabei kann es sich um unterschiedliche Vormaterialpositionen der gleichen Charge oder mehrerer Chargen handeln (Chargenzusammenlegung).

Das Vormateriallager umfaßte zum Untersuchungszeitpunkt ca. 650 verschiedene Qualitäten (Marken) mit insgesamt 10.000 Chargen und 12.000 Vormaterialpositionen. Letztere betrafen rund 6.000 Tonnen Rohblöcke und 37.000 Tonnen Halbzeug.

3.2.3.2. Untersützung der Vormaterial-Recherche durch EDV-Einsatz

Wie bereits in Abschnitt 1.4.2. kurz skizziert, wurden in einer ersten Ausbaustufe des geplanten Gesamtsystems die Qualitäts- und Abmessungsdaten der verschiedenen Lagerbestände auf magnetische Plattenspeicher übernommen. Über Datensichtgeräte lassen sich die körperlichen und/oder dispositiven Lagerbestände abrufen bzw. Bestandsbewegungen verbuchen.

Die zur Durchführung der Zuteilungsaktivitäten und verschiedener stoffwirtschaftlicher Arbeiten relevanten Daten sind in vier index-sequentiell organisierten Dateien, einer Marken-, Chargenkopf- und Bestandsdatei sowie einem sog. Marken-Austauschverzeichnis[2] enthalten.

(1) Markendatei

In ihr sind u. a. folgende Daten gespeichert:

- Markenschlüssel bzw. -text (Ordnungsbegriff)
- Mengenangaben, wie z. B. bisher erschmolzene Menge, disponierbarer Bestand, kleinste Losgröße

---

[1] Vgl. dazu die Ergebnisse einer statistischen Auswertung von D. H. Schönlein (a.a.O., S. 83).

[2] Zur detaillierten Lösung und maschinellen Realisierung siehe Schönlein, D. H., a.a.O., S. 6o - 1o8

- Analyseband
- Hinweise auf physikalische Eigenschaften
- die Nummern jener Chargen, die unter diesem Qualitätsbegriff erschmolzen wurden und Materialbestand aufweisen.

(2) Chargenkopfdatei

Sie enthält als wichtigste Informationen:

- Chargennummer (Ordnungsbegriff)
- Markenschlüssel bzw. -text
- Herstellverfahren (Siemens-Martin- oder Elektro-Lichtbogenofen)
- Herstellungsdatum mit Ofennummer
- Abgußart (Block- oder Strangguß)
- die exakte chemische Analyse
- Hinweise auf durchgeführte Materialproben und deren Ergebnisse
- Hinweise, ob die Charge im Rahmen des Analysenbandes normal oder im Grenzbereich liegt
- dispositiv verfügbares Materialgewicht.

(3) Bestandsdatei[1)]

Diese enthält u. a. je Vormaterialposition:

- Chargennummer und innerhalb der Charge eine Satznummer (Ordnungsbegriff)
- Profil
- Querschnitts- und Längenabmessungen
- Gesamtgewicht der Position
- Bearbeitungszustand und Lagerort
- Reservierungs- und Zuteilungsvermerke
- spezielle Hinweise auf die Entstehungsgeschichte dieses Materials.

Über die verschiedenen Identifikations- und Verweisfelder in den einzelnen Datensätzen und den bei dieser Organisationsform zu führenden Indextabellen kann jederzeit auf logisch zusammengehörige Datensätze zugegriffen werden.

[1)] Vgl. dazu auch Abschnitt 4.2.1.1.

3.2.3.3. Entscheidungsablauf

Zum Dispositionszeitpunkt gibt der Sachbearbeiter die Daten der gewünschten Qualität in den Rechner ein und erhält die zulässigen Chargen vorgestellt. Anschließend läßt er sich die Bestandsdaten zeigen und vergleicht diese mit den Halbzeuganforderungsdaten. Dabei sind folgende Situationen denkbar:

(1) Im Idealfall stimmen Vormaterialabmessung und -menge mit der Halbzeuganforderung überein. Die Zuteilung kann sofort realisiert, d. h. im Bestandssatz verbucht, und die Lieferanweisung an das Lager ausgedruckt werden.

(2) Der Sachbearbeiter findet kein Vormaterial, das mit der in der Materialbereitstellungskarte eingetragenen Knüppeldimension und -menge übereinstimmt. Dieser Fall ist in 90 % der Zuteilungssituationen gegeben und wird in der Praxis folgendermaßen gelöst:

a) Der Disponent dehnt die Suche nur auf Vormaterialien aus, von denen er weiß, daß deren Dimension (Rohblockformat) der Errechnung der Materialanforderung zugrunde lag. Teilt er dieses - sofern auf Lager - zu, bzw. reserviert er Schmelzkapazität, so erfüllt er wohl die Anforderungen der Materialbereitstellungskarte, läßt jedoch außer acht, daß u. U. Vormaterial anderer Dimension auf Lager ist, dessen Zuteilung möglicherweise zu einem besseren Ergebnis führt, als die primär geforderte Vormaterialdimension.

b) Entscheidet sich der Disponent nicht für die eben beschriebene relativ unkomplizierte Vorgehensweise, sondern zieht eine Reihe verschiedener zulässiger Vormaterialien größerer Dimension für die Auftragsdeckung in Betracht (Zielsetzung Lagerbestandssenkung) und nimmt dadurch zusätzliche Walzvorgänge (Umblocken) in Kauf, so besteht trotzdem - wie Gespräche mit Sachbearbeitern und Überprüfungen von Zuteilungsprotokollen ergaben - die Gefahr, daß nichtoptimale Entscheidungen getroffen werden. Als konkrete Beispiele lassen sich dafür folgende Situationen anführen:

- Der Disponent wählt jene Vormaterialposition aus, die beim Umblocken auf die in der Materialbereitstellungskarte angegebene Knüppellänge den geringsten Verschnitt verursacht. Er berücksichtigt dabei nicht, daß die auf dem Betriebsauftrag festgehaltene Knüppellänge nur unter der Prämisse, daß ein Rohblock einer bestimmten Dimension zum Einsatz kommt, als günstig anzusehen ist. Im speziellen Fall könnte z. B. eine andere, fertigungstechnisch ebenfalls zulässige Knüppellänge zu einem wesentlich geringeren Verschnittanfall führen.

- Der Disponent macht sich die Mühe und errechnet für die ihm am besten geeignet erscheinende Vormaterialposition unter Verwendung von Materialgewichts-Tabellen und der Auftragsdaten mit Hilfe eines Taschenrechners überschlägig eine neue Umblockanweisung (Vormaterialaufteilung). Dadurch ermittelt er für die eben betrachtete Bestandsposition unter erheblichem Zeitaufwand ein relativ günstiges Ergebnis. Aufgrund der großen Anzahl der zu erledigenden Aufträge wird es ihm in der Regel jedoch nicht möglich sein, eine analoge Berechnung für alle in Frage kommenden Vormaterialpositionen eines Auftrages durchzuführen und dann die tatsächlich günstigste auszuwählen.

3.3. Schwächen des Administrationssystems

Das beschriebene Administrationssystem erlaubt - abgesehen von der Transparenz der Lagerbestände und Ersatzmarken - keine wesentliche Verbesserung der eigentlichen Dispositionsentscheidung:

- So werden bei der Zuteilung von Vormaterialien größerer Dimension, die noch eine zusätzliche Zwischenwalzung mit anschließender Aufteilung des Knüppelstranges erfordern, die notwendigen Berechnungen manuell nicht oder nur überschlägig durchgeführt, ohne daß dabei die verschiedenen qualitäts-, dimensions- und

straßenabhängigen "Walzverlustfaktoren" sowie Bewertungsansätze ausreichend berücksichtigt werden könnten.

Sofern entsprechende Berechnungen erfolgen, erstrebt man mit ihnen meist nur das Ziel der Verschnittminimierung.

Orientiert sich der Disponent hingegen nur an der Längenangabe der Halbzeuganforderung, dann wird in der Regel auch das Verschnittminimum verfehlt.

- Darüber hinaus fehlen - abgesehen von eventuell absoluten Verschnittmengen - quantifizierbare Kriterien, die die Bewertung der "Güte" verschiedener möglicher Zuteilungsalternativen zulassen (vgl. dazu Abschnitt 1.2.1.). Kein Disponent kann mit einiger Sicherheit Aussagen darüber treffen, welche Kosten entstehen, wenn er höherwertiges Material verplant, zusätzliche Verformungsarbeitsgänge veranlaßt, Verschnitt bei der Zwischen- und/oder Fertigwalzung zuläßt oder aber auf der anderen Seite, welche Kosten er durch Verwendung von Lagermaterial zu verhindern imstande ist.

3.4. Spezielle Aufgabenstellung

Aus den Ausführungen der vorhergehenden Abschnitte läßt sich die Aufgabenstellung des speziellen Teils dieser Arbeit wie folgt formulieren:

Es ist ein Lösungsvorschlag zu erarbeiten, bei dem der Disponent von den umfangreichen Rechenarbeiten, die im Rahmen der quantitativen Substitution durchzuführen sind, befreit wird. Die eine Zuteilungsentscheidung beeinflussenden Mengen- und Kostenkriterien sind in Rechenalgorithmen so zusammenzuführen, daß letzten Endes für die Bewertung einer Zuteilungsalternative - sofern es sich um quantifizierbare Kriterien handelt - dem Sachbearbeiter vom EDV-System nur eine einzige operable Bewertungszahl zur Verfügung gestellt wird.

4. Halbzeugberechnung und Vormaterialbewertung - Problemanalyse

4.1. Problembereiche und Datenkategorien

Bei der Beurteilung von Vormaterialien, die qualitativ "passen" und hinsichtlich ihrer Abmessung zulässig sind, aber mit den Materialanforderungsdaten der Halbzeugbereitstellungskarte nicht übereinstimmen, müssen grundsätzlich folgende Probleme gelöst werden:

(1) Zunächst ist festzulegen, welche Vormaterialmenge voraussichtlich vorhanden sein muß, damit ein Auftrag überhaupt gedeckt werden kann.

(2) Wurde eine entsprechende Vormaterialposition größerer Dimension gefunden, dann ist die Entscheidung zu treffen, wie jedes Einzelstück dieser Position umzublocken ist, damit bei seinem Einsatz sowohl die Kundenanforderungen als auch die von der Fertigungstechnologie her vorgegebenen Restriktionen erfüllt werden. Dabei ist darauf zu achten, daß der Fertigungsprozeß möglichst "wirtschaftlich" vor sich geht.

(3) Nach Ermittlung der günstigsten Aufteilungsmöglichkeit eines Vormaterials (z. B. unter Berücksichtigung von Verschnittanfall) ist die exakte Anzahl der zur Auftragsdeckung erforderlichen Vormaterialien zu bestimmen. Eine entsprechende Zuordnung, die als Zuteilungsalternative bezeichnet wird, muß schließlich als Ganzes mit den ihr zurechenbaren Kosten bewertet werden, damit letztlich ein Vergleich mit anderen ermittelten Zuteilungsmöglichkeiten durchgeführt und die günstigste Alternative ausgewählt werden kann.

Die Daten, die bei den durchzuführenden Aufteilungs-, Zuordnungs- und Bewertungsrechnungen relevant sind, lassen sich global in drei Kategorien untergliedern:

- Hier sind zunächst Daten zu nennen, die im wesentlichen nur Mengen und Dimensionen beschreiben. Dazu zählen zum einen Daten, die das vorhandene Vormaterial, das auch als Ausgangsmenge bezeichnet werden kann, in quantitativer Hinsicht charakterisieren. Zum anderen zählen dazu die Auftragsdaten, die das zu walzende Endprodukt als Ziel des durchzuführenden Transformationsprozesses definieren (Zielmengen).

- Eine weitere Datenkategorie umfaßt die bei der Transformation der gefundenen Vormaterialien in das gewünschte Endprodukt zu beachtenden fertigungstechnisch-betrieblichen und qualitätsabhängigen Restriktionsdaten und Parameter.

- Schließlich sind Leistungs- und Kostendaten zu berücksichtigen, die es erlauben, alternative Vormaterialaufteilungsmöglichkeiten und Zuteilungsalternativen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu bewerten.

In den folgenden Abschnitten werden nun jene Daten, die überwiegend bei Untersuchungen in einem Unternehmen der Praxis, z. T. aber auch in der einschlägigen Literatur[1)] als für die Lösung des Zuteilungsproblems relevant erkannt wurden, näher untersucht.

4.2. Analyse und Struktur der entscheidungsrelevanten Mengendaten

4.2.1. Vormaterial- und Auftragsdaten

4.2.1.1. Vormaterialdaten

Ausgangspunkt für die Halbzeugberechnung sind neben den Auftragsdaten die Vormaterialdaten. Diese umfassen in ihrer

---

[1)] Vgl. dazu z. B. die Kostenanalysen von Ibach, G., Herstellungskosten an Stabstahlstraßen beim Auswalzen von Edelstahl in Abhängigkeit von Leistung und Losgröße, Stahl und Eisen 87 (1967), S. 746 ff.

Gesamtheit alle Informationen, die einen Bestand in qualitativer (Marken- und Chargendaten) und quantitativer Hinsicht (Bestandsdaten) beschreiben. (Vergleiche dazu den Inhalt der verschiedenen Dateien des Administrationssystems in Abschnitt 3.2.3.2.)

Für die Halbzeugberechnung stehen primär die Abmessungs- und Mengendaten, die durch folgende Merkmale beschrieben sind, im Vordergrund:

- Profil (PRKZ),
- Quererschnittsabmessung (AMAV, AMBV),
- Längenabmessung,
- Gewicht der Vormaterialposition (GPOS),
- Stückzahl (STK),
- Bearbeitungszustand (BEABZ).

Daneben gibt es aber auch einige qualitätsspezifische Daten, wie z. B. den Härte- und Legierungsgrad oder das spezifische Gewicht, die für die Halbzeugberechnung von Bedeutung sind.

Während das Profilkennzeichen in verschlüsselter Form Informationen darüber enthält, ob es sich bei der betrachteten Vormaterialposition um Rohblöcke, Vorblöcke oder Halbzeug handelt, spezifiziert die Querschnittsabmessung bei Vorblöcken und Halbzeug durch Angabe von Breite und Höhe des Materials dessen Dimension.

Profil und Dimension determinieren zusammen mit dem Legierungs- bzw. Härtegrad einer Qualität die Höhe verschiedener Materialverluste und Verrechnungssätze, die bei der Fertigung zu erwarten sind (vgl. dazu die Ausführungen in Abschnitt 4.2.2. und 4.3.1.2.3.).

Längenabmessungen dienen in der Praxis vielfach nur als grobes Such- und Vergleichskriterium, sind aber für die eigentliche Halbzeugberechnung nur von sekundärer Bedeutung. Dies mag z. T. daran liegen, daß sie aufgrund des

in der Regel heißen Materialzustandes während des Datenerfassungsprozesses nur grob ermittelt werden.

Von wesentlicher Bedeutung hingegen ist das Gewicht einer Vormaterialposition, da dieses relativ genau festgestellt wird. Gewisse Ungenauigkeiten - bezogen auf ein einzelnes Vormaterial - ergeben sich dadurch, daß meist mehrere Vormaterialien auf einmal gewogen werden, obwohl diese aufgrund fertigungstechnischer Gegebenheiten (beispielsweise unregelmäßiger Rückstoß am Anschlagbrett der Vorblock- und Halbzeugteilanlage) in den Längen leicht differieren. Für die Halbzeugberechnung muß dann das Stückgewicht aus GPOS/STK errechnet werden, wodurch sich eine gewisse Nivellierung der dispositiven Stückgewichte ergibt[1]. Dennoch dient das Stückgewicht als wesentliches Ausgangsdatum für die durchzuführende Vormaterialaufteilung.

Wichtig ist für die Vormaterialaufteilung auch das spezifische Gewicht des gerade betrachteten Materials. Dieses schwankt in Abhängigkeit vom Legierungsgrad einer Edelstahlqualität zwischen 7,25 und 8,5 g/cm^3 und wirkt sich besonders auf die Längenaspekte im Bereich der Halbzeugberechnung und dadurch indirekt auf das Gewicht des Einsatzmaterials aus[2].

Wesentlich ist auch der Bearbeitungszustand lagernden Materials. Hier sind zum einen dann, wenn ein Auftrag Zusatz-

---

[1] Eine Änderung dieses Zustandes z. B. durch EDV-unterstützte Betriebsdatenerfassung und Stoffflußverfolgung ist beim heutigen Stand der EDV-Technik kein technisches, sondern allein ein ökonomisches Problem. Vgl. zu derartigen Realisierungen Wadika, H. und Odelode, G., Ein automatisches Informationssystem zur Auftragsabwicklung in einem Warmbreitbandwalzwerk, Stahl und Eisen 87 (1967), S. 1322 ff.; Roschmann, K., Elektronische Fertigungsüberwachung - Betriebsdatenerfassung-, Stuttgart-Berlin 1974; Billen, H. H. und Sandhöfer, K.-H., Verbesserungen durch Ausbau und Rechnereinsatz in einem Profilwalzwerk erster Hitze, Stahl und Eisen 92 (1972), S. 1324 f.

[2] So erfordert z. B. eine gewünschte Walzader mit einem Querschnitt von 100 mm^2 und einer Länge von 50 m bei einer Marke mit dem spezifischen Gewicht von 7,25 (unter Vernachlässigung des Walzverlustfaktors) den Einsatz eines Knüppels mit 36,5 kg, bei einer Marke mit dem spezifischen Gewicht von 8,5 jedoch ein Knüppelgewicht von 42,5 kg.

arbeitsgänge erfordert, die an dem betrachteten Material noch nicht durchgeführt wurden, bei der Errechnung der Vormaterialaufteilung ebenfalls verschiedene Materialverluste (siehe Abschnitt 4.2.2.) zu berücksichtigen. Hat das Material bereits den gewünschten Bearbeitungszustand, dann kann auf derartige Materialverlustfaktoren verzichtet werden.

4.2.1.2. Auftragsdaten

Die Auftragsdaten definieren in qualitativer und quantitativer Hinsicht das zu erzeugende Endprodukt. Aus der Fülle der denkbaren Daten sind speziell für die Halbzeugberechnung folgende von besonderer Bedeutung[1]:

- Profil des Endproduktes (PROF),
- Breite bzw. Durchmesser (ABAF),
- Höhe (ABBF),
- obere Lieferlänge (LFO),
- untere Lieferlänge (LFU),
- Bestellgewicht (BG),
- Walzgruppe (WAGRU)
- qualitativ bedingte Zusatzarbeitsgänge an Vormaterial und Halbzeug.

Eine Besonderheit stellen die vom Kunden definierten Fertigstablängen dar. Ungefähr die Hälfte aller Aufträge betreffen sogenannte Fixlängen. Der Rest ist so geartet, daß der Kunde Stablängen, die innerhalb eines bestimmten von ihm vorgegebenen Längen-Toleranzbereiches liegen, akzeptiert. In diesem Fall spricht man von sogenannten "Von-Bis-Längen".

Große Längentoleranzen führen zu versandtechnischen Schwierigkeiten. Um diese zu umgehen, strebt man daher an, nur eine einheitliche Lieferlänge zu fertigen und auszuliefern.

---

[1] Die für der Gesamt-Zuteilungsprozeß wichtigsten qualitativen Auftragsdaten wurden bereits in Abschnitt 2.1.2.1. angesprochen.

Die exakte Erfüllung des Bestellgewichtes ist aufgrund der Produktionsstruktur oft nicht oder nur unter Akzeptanz zusätzlicher Kosten, z. B. für anfallende Reststäbe, zu erreichen.

Diese Problematik läßt sich anhand des in Abbildung 3.1./1 skizzierten Beispiels verdeutlichen. Wenn wir davon ausgehen, daß das Bestellgewicht eines Auftrages in Stäbe umgerechnet elf Stück umfaßt, dann würde der Produktionsprozeß zu einer Überproduktion von einem Stück führen. Dieses wäre bei strenger Betrachtung als Verschnitt (Schrott) anzusehen. Bei einer zehnprozentigen Bestellgewichtsüberschreitung hingegen könnten alle Stäbe ausgeliefert werden. Aus diesem Grund sind folgende Standard-Toleranzwerte für verschiedene Auftragsmengenklassen gebräuchlich: Aufträge unter 2.000 kg dürfen bis zu 10 %, Aufträge darüber bis zu 5 %, Großaufträge eventuell nur bis zu 2 % überliefert werden.

Auf der anderen Seite besteht auch die Möglichkeit, Kundenaufträge nicht voll zu erfüllen, und zwar dann, wenn bei Einhaltung des Bestellgewichtes unverhältnismäßig hoher Verschnitt bzw. Materialrest anfallen würde. Auf Abbildung 3.1./1 bezogen wäre das der Fall, wenn der Kunde z. B. 13 Stäbe ordert. Eine 100 %-ige Auftragserfüllung würde in diesem Fall dazu führen, daß zur Auftragsdeckung zwei Vormaterialien erforderlich wären, vom zweiten Vormaterial jedoch zwei Knüppel nach dem Umblocken als Rücklieferung ans Lager gingen und schließlich drei Stäbe eines Knüppels nach der Fertigwalzung Verschnitt wären. In einer derartigen Situation hat sich die Regelung durchgesetzt, daß dann, wenn die noch fehlende Restliefermenge kleiner ist als ein Zehntel des zur Deckung einzusetzenden Vormaterials, eine entsprechende Bestellgewichtsunterschreitung zulässig ist. Sowohl Über- als auch Unterlieferungstoleranzen sind bei der Halbzeugberechnung als Parameter zu berücksichtigen.

Selbstverständlich ist es in Ausnahmefällen denkbar, von diesen generellen Regelungen abzuweichen. Für ein computergestütztes System bedeutet dies, daß eine entsprechende Steuerung durch manuelle Parameteränderung während des Zuteilungsablaufs vorherzusehen ist.

Von besonderer Relevanz ist die in der technischen Auftragsbearbeitung für einen Auftrag festgelegte Walzgruppe[1]. Diese dient zunächst der zeitlichen Einordnung eines Auftrages in den fest vorgegebenen Walzzyklus, der vereinfacht ausgedrückt so abläuft, daß beim Wechsel von einer Walzgruppe zu einer anderen die Rüst- bzw. Umbauzeiten minimiert werden. Für die Halbzeugberechnung ist dieses Datum insofern wichtig, als es dadurch möglich ist, die in der Regel für jede Walzgruppe fest vorgegebenen Walzrestriktionsdaten (siehe Abschnitt 4.2.2.), sei es im manuellen System durch Zugriff auf entsprechende Tabellen oder im maschinellen System durch Zugriff auf eine Datei, aufzufinden.

4.2.2. Technologisch und qualitativ bedingte Restriktions- und Zuschlags- bzw. Materialverlustparameter

4.2.2.1. Walzrestriktionsdaten

Die Walzrestriktionsdaten stellen während der Vormaterialdisposition gewissermaßen das rechnerische Verbindungsglied zwischen gefundenem Vormaterial und angestrebtem Fertigprodukt dar. Für jede Walzgruppe, in der im allgemeinen nur Aufträge mit einem bestimmten Fertigprofil und ähnlichen Querschnittsabmessungen fertiggewalzt werden, gibt es eine bestimmte Knüppeldimension, die für die Fertigung besonders prädestiniert ist.

Die im Rahmen der Halbzeugberechnung (von der Walzwerksleitung vorgegebenen) zu berücksichtigenden Daten sind je Walzgruppe im einzelnen:

---

[1] Bei der Einteilung des Produktionsprogramms in Walzgruppen sind die Determinanten erforderliches Einsatzmaterial, zu walzendes Profil und zu walzende Dimension des Fertigprodukts von ausschlaggebender Bedeutung.

- Profil (PROKZ),
- Anstichquerschnitt (ABMA, ABMB),
- minimale Knüppellänge (LHU),
- maximale Knüppellänge (LHO),
- maximale Kühlbettlänge (KBL).

Tabelle 4.2.2.1./1 zeigt beispielhaft die für Simulationszwecke aus den Praxisdaten abgeleiteten Restriktionsdaten einiger Walzgruppen.

Ein Abweichen z. B. vom geforderten zu einem größeren Anstichquerschnitt innerhalb einer Walzgruppe würde einerseits den Walzaufwand erheblich erhöhen und andererseits möglicherweise zu erheblichen Störungen im Walzablauf führen.

Ähnliche Auswirkungen wären auch bei Nichteinhaltung der minimalen und maximalen Knüppellänge zu erwarten. Ein Unterschreiten der minimalen Knüppellänge würde beispielsweise Schwierigkeiten beim Aufheizen der Knüppel in den einer Walzstraße vorgelagerten Stoßöfen bewirken, ein Überschreiten der maximalen Knüppellänge aufgrund der technischen Konstruktion der Stoßöfen deren Einsatz eventuell sogar unmöglich machen.

Besondere Bedeutung kommt der maximalen Kühlbettlänge zu. Für den Fall, daß z. B. bei Einsatz maximaler Knüppellänge die bei der Fertigwalzung erzielbare Walzader die zulässige Kühlbettlänge überschreitet, muß jene soweit reduziert werden, daß diese Restriktion nicht mehr verletzt wird. Diese Vorgehensweise kann z. B. bei sehr kleinen Fertigproduktabmessungen dazu führen, daß die maximal zulässige Knüppellänge die zulässige Untergrenze LHU unterschreitet. In diesem Fall wird bei der Fertigung die sogenannte "fliegende Schere" eingesetzt, die beim letzten Walzvorgang die zu lange Walzader während des Walzprozesses teilt. Dieser betriebsspezifischen Situation ist auch bei der Vormaterialaufteilung Rechnung zu tragen.

Tabelle 4.2.2.1./1 — Beispielhafter Inhalt einer Walzrestriktionstabelle

WALZSTR./GRUPPE	PROFIL	BREITE (MM)	HOEHE (MM)	KNUEPPEL-LAENGE VON /	BIS	KUEHLBETTLAENGE (M)
8 20	4-KANT	70		1000	1900	68
8 21	4-KANT	70		1000	1900	100
8 22	4-KANT	70		1000	1900	36
8 24	4-KANT	80		1000	2100	36
8 40	4-KANT	70		1000	1900	36
8 41	4-KANT	70		1000	1900	100
8 42	4-KANT	80		1000	2100	36
8 60	4-KANT	70		1000	1900	36
8 61	4-KANT	70		1000	1900	100
8 62	4-KANT	80		1000	2100	36
8 80	4-KANT	70		1000	1900	36
8 81	4-KANT	70		1000	1900	100
8 82	4-KANT	80		1000	2100	36
9 10	4-KANT	280		1500	2100	27
9 12	4-KANT	118		2000	4000	35
9 13	4-KANT	84		2000	4000	46
9 14	4-KANT	100		2000	4000	46
9 17	4-KANT	118		2000	4000	38
9 21	4-KANT	84		2000	4000	36
9 23	4-KANT	84		2000	4000	27
9 40	FLACH		68	2000	4000	27
9 70	4-KANT	100		2000	4000	43
9 72	4-KANT	118		2000	4000	35
9 75	4-KANT	100		2000	4000	43
9 77	4-KANT	118		2000	4000	35
9 80	4-KANT	103		2000	4000	43

Bestimmte Flachprofile (siehe Tabelle 4.2.2.1./1 Walzgruppe 940) erfordern bei der Fertigwalzung nicht den Einsatz der gängigen Vierkantknüppel sondern flachdimensionierten Halbzeugs. Die exakten Abmessungsdaten sind dabei abhängig von Fertigproduktquerschnitt, -breite und -stärke; sie lassen sich am besten in Entscheidungstabellenform darstellen (siehe Abbildung 4.2.2.1./2[1]).

Abb. 4.2.2.1./2	Ermittlung der Anstichquerschnitte bei speziellen Flachprofilen						
Fertigproduktbreite (ABAF)	-	<140	<155	>155	-	-	-
Fertigproduktstärke (ABBF)	-	-	-	-	= 40	-	-
Fertigproduktquerschnitt (QF)	<140	<165	<180	<191	<196	<210	>210
Knüppelstärke (ABMB)	66	68	68	68	68	68	68
Knüppelbreite (ABMA)	128	150	168	180	180	200	210
QF = ABAF x ABBF; die Zahlenwerte beziehen sich auf mm bzw. mm2.							

4.2.2.2. Technologisch und qualitativ bedingte Zuschlags- bzw. Verlustparameter

4.2.2.2.1. Mengenaspekte des Produktionsprozesses - Überblick

Die fertigungstechnische Abwicklung eines Kunden- bzw. Walzauftrages erfordert in Abhängigkeit von den

[1] Über die kausalen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Einflußgrößen konnte nichts in Erfahrung gebracht werden; es ist jedoch anzunehmen, daß neben den technischen Restriktionen der Walzaggregate auch Änderungen der Materialstruktur während des Walzprozesses eine Rolle spielen.

- Abmessungsdaten der zuzuteilenden Vormaterialien,
- Qualitätsanforderungen des Kundenauftrages,
- Profil- und Abmessungsanforderungen des Kundenauftrages

neben den eigentlichen Walzvorgängen vielfach eine Reihe zusätzlicher Arbeitsgänge, die gerade in der Stahlindustrie im allgemeinen mit mehr oder weniger großen Materialverlusten verbunden sind.

Im Rahmen des Zuteilungsprozesses gilt es nun, diese überwiegend zwangsweise anfallenden Verluste vorherzusehen und in die Dispositionsentscheidungen (Gesamtmenge der einzusetzenden Vormaterialien[1] und Vormaterialaufteilung[2]) miteinzubeziehen.

Das Problem sei zunächst anhand eines einfachen, schematischen Beispiels, in dem dispositive Aspekte der Vormaterialaufteilung außer Acht gelassen werden, erläutert:

Aufgrund der qualitativen und quantitativen Kundenauftragsdaten habe die technische Auftragsbearbeitung für den Fertigungsablauf folgende Arbeitsgänge festgelegt:

- Flämmen des zuzuteilenden Materials,
- Umblocken auf Knüppel,
- Schleifen der Knüppel,
- Fertigwalzung,
- Qualitätskontrolle,
- Versand.

---

[1] Vgl. dazu Abschnitt 4.2.2.2.3. und 5.2.2.

[2] Vgl. dazu Abschnitt 5.2.3.

Die statistische Auswertung von Aufzeichnungen des Walzwerkes sowie der Stoff- und Qualitätswirtschaft habe ergeben, daß bei einer derartigen Qualitäts- und Dimensionsdatenkonstellation in den einzelnen Bearbeitungsstufen mit folgenden Ausbringungsverlusten[1] bzw. Materialausfällen zu rechnen sei: Flämmen 6 %, Umblokken 3 %, Schleifen 5 %, Fertigwalzung (Walzverlust einschl. Zwangsverschnitt[2]) 5 %, Materialrevision 12 %[3].

Abbildung 4.2.2.2.1./1 zeigt - ausgehend von einer bestimmten Vormaterialmenge - schematisch die Mengenrelationen zwischen den einzelnen Fertigungsstufen, wobei die Verlust- bzw. Schwundanteile bewußt etwas überdimensioniert dargestellt sind. Die Ausbringungsmenge einer Stufe ist darin gleich der Materialeinsatzmenge der nächsten Stufe.

Während des Zuteilungsprozesses ist diese Produktionsstruktur unter Mengengesichtspunkten in beiden Richtungen zu durchlaufen:

Um feststellen zu können, welche Vormaterialmenge zur Deckung des Auftragsgewichtes erforderlich sein wird, ist zunächst der Fergigungsablauf in entgegengesetzter Richtung aufzulösen. Ausgehend vom gewünschten Liefergewicht (Bestellgewicht) muß Stufe um Stufe unter Berücksichtigung der zu erwartenden Materialverluste und -ausfälle die jeweils erforderliche Materialeinsatzmenge bis hin zur Vormaterialeinsatzmenge ermittelt werden. Der errechnete Wert dient bei der Vormaterialrecherche als grober Mengenfilter. (Vgl. dazu die numerische Lösung des betrachteten Beispiels in Abschnitt 4.2.2.2.3.)

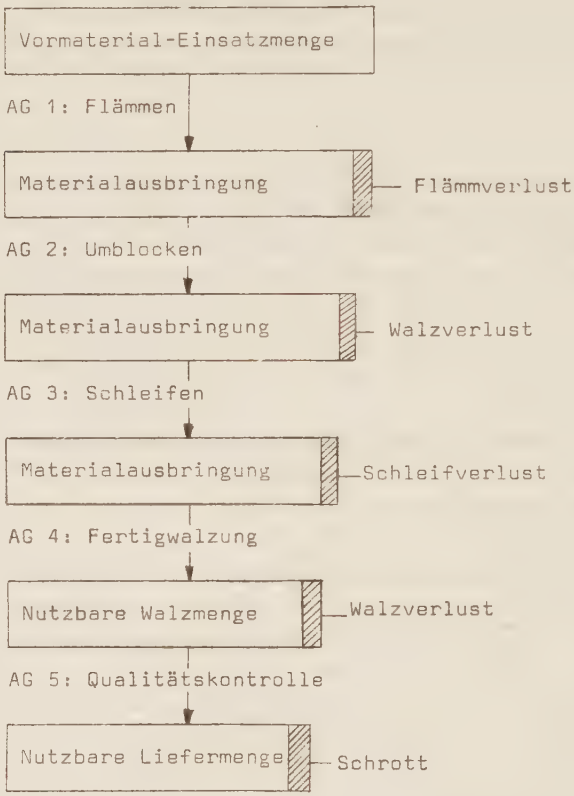
---

[1] Unter Ausbringungsverlust ist der prozentuale Materialverlust zwischen Mengeninput und Mengenoutput einer Bearbeitungsstufe zu verstehen.

[2] Siehe dazu Abschnitt 4.2.2.2.2.1.

[3] Die entsprechenden Prozentsätze entstammen aus einer in der Praxis durchgeführten Untersuchung.

Abb. 4.2.2.2.1./1	Schematische Darstellung der Mengenrelationen zwischen den einzelnen Bearbeitungsstufen



AG 1, AG 2, ... Während des Fertigungsablaufs durchzuführende Arbeitsgänge

Wurde eine mengenmäßig ausreichende Bestandsposition gefunden, dann ist unter Beachtung der gültigen Verlust- und Restriktionsparameter die Art der Auftragsdeckung (Vormaterial- und Knüppelanzahl, Stablänge) festzulegen (siehe dazu den Lösungsansatz in Abschnitt 5.)

4.2.2.2.2. Spezielle Verlustparameter

4.2.2.2.2.1. Walzverlustfaktoren

Bei jedem Walzvorgang, gleichgültig ob beim Umblocken oder Fertigwalzen, tritt ein fertigungstechnisch bedingter Materialverlust, den man als Abbrand oder Zunder bezeichnet, auf. Der prozentuelle Anteil derartiger Walzverluste ist jedoch nicht ein für sämtliche Walzvorgänge allgemeingültiger Wert, sondern wird von verschiedenen Faktoren bestimmt.

Eine wesentliche Komponente ist der sogenannte Verformungsgrad R, der das Verhältnis Anstichquerschnitt des Einsatzmaterials/Querschnitt des ausgewalzten Materials zum Ausdruck bringt. Etwas verallgemeinernd gilt die Feststellung, daß mit zunehmendem Verformungsgrad auch der technisch bedingte Abbrandanteil je Vormaterial steigt. Plausibel wird diese Aussage, wenn man bedenkt, daß bei der Transformation eines größer dimensionierten Materials in ein kleiner dimensioniertes bei wachsendem R die Anzahl der für die Zielerreichung des Walzprozesses erforderlichen Stiche bzw. der zu durchlaufenden Walzenkaliber zunimmt. Je öfter aber das Walzgut durch die Aggregate zu führen ist, um so größer ist der Abbrandanfall.

Als zweite dominierende Komponente läßt sich die Qualität des Walzgutes nennen. Relativ weiche Qualitäten verursachen mehr Abbrand als harte bzw. hochlegierte.

Gespräche mit Experten der Stoffwirtschaft des untersuchten Unternehmens führten zu dem Ergebnis, daß für Zwecke der Halbzeugberechnung hinsichtlich des zu erwartenden Walzverhaltens (Walzverluste, Walzleistung) eine Aggregierung der vorhandenen Stahlqualitäten in ca. fünf bis zehn homogene Gruppen möglich sein müßte. Innerhalb der einzelnen Qualitätsgruppen differieren die Walzverluste in Abhängigkeit von der Dimension des Einsatzmaterials und des gewünschten Ausbringungsmaterials. Beide Determinanten, Einsatz- und Ausbringungsdimension, sind beispielsweise bei der Fertigwalzung im Oberbegriff Walzgruppe enthalten. Es empfiehlt sich daher, für die Fertigwalzung die relevanten Walzverluste je Walz- und Qualitätsgruppe festzulegen. Die aktuellen, nach Walz- und Qualitätsgruppen differenzierten Walzverlustprozentsätze lassen sich in der Praxis aus den Einsatzberichten des Walzwerkes und den Aufzeichnungen der Stoffwirtschaft ermitteln und für Rechenzwecke in Form sogenannter Walzverlustfaktoren $WVF_{i,j}$ nach dem Ausdruck[1)]

$$\frac{\text{Ausbringungsmenge (einschl. Endenschrott)}}{\text{Einsatzmenge}}$$

je Walzgruppe i und Qualitätsgruppe j festlegen (siehe dazu Abbildung 4.2.2.2.2.1./1).

Bei der Dimensionsbetrachtung des Zwischenwalzprozesses ist es leider nicht möglich, die Einsatz- bzw. Vormaterialdimensionen und die daraus zu fertigenden Ausbringungs- bzw. Knüppel- und Halbzeugdimensionen unter einen einheitlichen Oberbegriff zu subsumieren. Vielmehr sind hier Dimensionsklassen zu bilden, die hinsichtlich Materialeinsatz in einer größeren Dimensionsklasse k (z. B. 4-kant 240) und Ausbringung dieses Materials in einer kleineren Dimensionsklasse o (z. B. 4-kant 100) in Beziehung zu setzen sind.

---

1) Dieser Ausdruck stellt sicher, daß der abbrandbedingte Walzverlust nicht durch Materialentfall wie Endenschrott (siehe Abschnitt 4.2.2.2.2.2.) verfälscht wird.

Die entsprechenden Walzverlustfaktoren $WVU_{k,o,j}$ je Qualitätsgruppe j errechnen sich dann nach dem Ausdruck

$$\frac{\text{Ausbringungsmenge der Dimensionsklasse o}}{\text{Einsatzmenge der Dimensionsklasse k}} .$$

Als Basisdaten dienen auch hier die Einsatzberichte des Walzwerkes und die Aufzeichnungen der Stoffwirtschaft.

Tabelle 4.2.2.2.2.1./1 zeigt beispielhaft die wichtigsten Dimensionsklassen aus dem Vormaterialbereich mit deren Abmessungsbereichen.

Darauf aufbauend ist in Abbildung 4.2.2.2.2.1./2 der schematische Aufbau einer Walzverlustmatrix für alle theoretisch möglichen Umblockvorgänge skizziert. Ein großer Teil der entsprechenden Matrixelemente wird allein aus der Tatsache, daß rein technisch die Transformation eines kleineren in ein größeres Vormaterial nicht möglich ist, ein anderer Teil deshalb, weil z. B. Umblockvorgänge zu kleineren Dimensionen entweder unwirtschaftlich oder aus betriebsorganisatorischen Gründen nicht möglich sind, nicht besetzt sein.

Abb. 4.2.2.2.2.1./1	Schematischer Aufbau der Walzverlustmatrix für Fertigwalzvorgänge			
	QG (1)	QG (2)	.....	QG (m)
WAGRU (1)	$WVF_{1,1}$	$WVF_{1,2}$	.	$WVF_{1,m}$
WAGRU (2)	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
WAGRU (m)	$WVF_{n,1}$	...	...	$WVF_{n,m}$

Legende:

QG = Qualitätsgruppe

WAGRU = Walzgruppe

$WVF_{i,j}$ = Walzverlustfaktor für Walzgruppe i und Qualitätsgruppe j

i = 1, ..., n (Walzgruppen)

j = 1, ..., m (Qualitätsgruppen)

Tab. 4.2.2.2.2.1./1	Dimensionsklassen, Profilgruppen, Abmessungsbereiche	
Dimensionsklasse	Profilgruppe	Abmessungsbereich (kg)
1	Rohblock	4.000 (kg)
2		1.415 (kg)
3	vierkant	>240 (mm)
4		240
5		180 - 220
6		150 - 170
7		130 - 150
8		110 - 127
9		85 - 103
10		70 - 84
11		40 - 65
12	flach	180 bis 200 x 210
13		150 bis 190 x 140
14		200 oder 210 x 68
15		168 oder 180 x 68
16		150 x 68
17		128 x 68

Abb. 4.2.2.2.2.1./2	Schematischer Aufbau der Walzverlustmatrix für Umblockvorgänge, bezogen auf eine Qualitätsgruppe j

Walzverlustfaktoren bei einem Transformationsprozeß

von Dimensionsklasse \ nach Dimensionsklasse	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1															
2	-	-													
3	-	-													
4	-	-	-							-					
5	-	-	-	-						-					
6	-	-	-	-						-	-				
7	-	-	-	-	-	-				-	-	-	-		
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-						-	-				
13	-	-	-	-						-	-				
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- = nichtbesetzte Matrixelemente

4.2.2.2.2.2. Endenschrott

Nach der Fertigwalzung werden die Walzadern an der Schere in die gewünschten Stablängen geteilt. In diesem Zusammenhang sind in der Regel die Enden der Walzader um den sogenannten Endenschrott zu kürzen. Dieser Endenschrott fällt unabhängig von der Länge der Walzader und damit unabhängig von der Länge des eingesetzten Knüppels als "Zwangsverschnitt" mit gleicher Länge an[1].

[1] Vgl. dazu Krebs, P., a.a.O., S. 58 und Kösters, F., Keese, W., Kess, K.-H. und Obelode, G., Einsatz einer Datenverarbeitungsanlage an einer halbkontinuierlichen Mittelstraße, Stahl und Eisen 91 (1971) 8, S. 424.

In der Praxis wird diesem Endenschrott vielfach dadurch Rechnung getragen, daß man ihn in den Walzverlust einfließen läßt.

Tatsächlich handelt es sich aber um keinen Walzverlust, der z. B. prozentual abhängt von der Größe des eingesetzten Knüppels, sondern um einen konstanten Wert.

Die Problematik, die sich dabei für die Halbzeugberechnung ergibt, sei an folgendem Beispiel kurz erläutert:

Angenommen, bei der Fertigwalzung eines Auftrages können Knüppel K1 mit 400 kg und K2 mit 300 kg eingesetzt werden, der globale Walzverlust (einschließlich Endenschrott) betrage 4 % und der Endenschrott 10 kg je Walzader.

Dann beträgt für K1 der gesamte Walzverlust 16 kg (400 x 0,04) und der Abbrand 6 kg (16 - 10). Für K2 ergibt sich ein Walzverlust von 12 kg und aufgrund der Tatsache, daß der Endenschrott gleich bleibt, ein Abbrand von 2 kg (12 - 10).

Man ersieht daraus einen Widerspruch im Abbrandanteil der beiden Knüppel - bei K1 1,5 % und bei K2 0,7 % -, der aber in der Praxis aufgrund der fertigungstechnischen Gegebenheiten nicht vorhanden ist. Die Folge davon wären zwangsläufig Ungenauigkeiten bei der Halbzeugberechnung, insbesondere bei der Vormaterialaufteilung, die sich darin äußerten, daß die Relation

nutzbare Walzader : Materialeinsatz

bei großen Knüppeln größer wäre als bei kleineren; oder vereinfacht ausgedrückt: Bei Verwendung kleinerer Knüppel müßte der Materialeinsatz je Stab größer sein als bei Verwendung größerer Knüppel.

Für die Halbzeugberechnung ist es daher auf jeden Fall ratsam, eine Differenzierung des bei der Fertigwalzung zu erwartenden "Materialverlustes" in den tatsächlichen, abbrandbedingten Walzverlust und in den Endenschrott oder Zwangsverschnitt vorzunehmen.

Die Länge des Endenschrotts (zwischen 0 und 100 cm je Walzader) ist in erster Linie abhängig vom Profil und von der Querschnittsabmessung des Endprodukts und kaum von der verwendeten Qualität. Daher ist es für die Halbzeugberechnung ausreichend, für jede Walzgruppe i einen Endenschrottzuschlag ES_i in Zentimetern vorzusehen.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, den Endenschrott auch unter "Sicherheitsaspekten" festzulegen. Eine zusätzliche Verlängerung kann z. B. dann sinnvoll sein, wenn mit relativ großer Wahrscheinlichkeit Gewichtsschwankungen beim einzusetzenden Halbzeug zu erwarten sind. In diesem Fall erlaubt der Endenschrott die Neutralisierung auftretender Knüppelgewichtsunterschreitungen.

4.2.2.2.2.3. Revisionsfaktor

Ein weiterer wichtiger Parameter bezieht sich auf die Qualitätskontrolle. Es zeigt sich in der Praxis, daß Material, welches die Walzstraße als "gut" verlassen hat, hin und wieder Fehler, wie z. B. Risse, aufweist, so daß es an den Kunden nicht ausgeliefert werden kann. Dabei lassen sich auch hier prozentuelle Unterschiede für verschiedene Profile und Abmessungsbereiche (Walzgruppen) sowie Qualitätsgruppen feststellen[1]. Der je Walzgruppe i und Qualitätsgruppe j gültige Revisionsfaktor $REVF_{i,j}$, der zu einer Erhöhung der zu disponierenden Walzmenge führen muß, läßt sich ebenfalls aus den Aufzeichnungen der Stoffwirtschaft nach dem Ausdruck

$$\frac{\text{brauchbare Liefermenge}}{\text{Walzmenge}}$$

errechnen und in Tabellenform analog zu Abbildung 4.2.2.2.2.1./1 festhalten.

Neben Walz- und Qualitätsgruppe kann der Revisionsausfall u. U. auch noch vom Qualitätsverhalten der Kunden abhängen. So ist es durchaus denkbar, daß ein Kunde Fertigmaterial mit kleinen Mängeln, die die Funktion des Produktes keineswegs beeinträchtigen und auch visuell kaum ins Auge fallen, akzeptiert, ein anderer hingegen nicht. Daher ist es für derartige Fälle zweckmäßig, in einem computergestützten Dispositionssystem eine zusätzliche Parametereingabemöglichkeit, die gewissermaßen den "Empfindlichkeitsgrad" eines Kunden berücksichtigt, vorzusehen[2].

---

[1] Bei einigen Qualitäten beträgt der Materialausfall bis zu 30 %.

[2] Je nach Organisationsform wäre es auch möglich, diese Parameter in einer Auftrags- oder Kundendatei zu speichern.

4.2.2.2.2.4. Arbeitsgangfaktoren

Aufgrund spezieller qualitativer Kundenanforderungen sind manchmal am einzusetzenden Vormaterial und/oder Halbzeug Zusatzarbeitsgänge, die in erster Linie auf eine Verbesserung der Oberflächenstruktur abzielen, durchzuführen.

Abbildung 4.2.2.2.2.4./1 zeigt beispielhaft einige dieser Zusatzarbeitsgänge mit den zu erwartenden Materialverlustprozentsätzen.

Da der Materialverlust nicht nur vom durchzuführenden Arbeitsgang, sondern auch vom Fertigungsgrad[1] und der Qualität des betrachteten Materials abhängt, bietet sich auch hier je Arbeitsgang eine Differenzierung in Dimensionsklassen und Qualitätsgruppen an. Für jeden Arbeitsgang läßt sich aus dem schon bekannten Ausdruck

$$\frac{\text{Ausbringung}}{\text{Materialeinsatz}}$$

ein Arbeitsgangfaktor $AGF_{k,j}$ je Dimensionsklasse k und Qualitätsgruppe j errechnen. Das erforderliche Datenmaterial stellt die Stoffwirtschaft durch Auswertung der Arbeitsplatz-Mengenberichte zur Verfügung.

4.2.2.2.3. Parameterverknüpfung

Die Verknüpfung der einzelnen Faktoren, die in ihrer Gesamtheit mit den sie determinierenden Vormaterial- und Auftragsdaten in komprimierter Form nochmals in Abbildung 4.2.2.2.3./1 dargestellt sind, erfolgt während des Zuteilungsprozesses weitgehend multiplikativ.

---

[1] So ist es z. B. leicht möglich, daß bei einem Roh- oder Vorblock, bedingt durch dessen grobe Oberflächenbeschaffenheit, bei einem Zusatzarbeitsgang mehr Material verloren geht als bei einem schon mehrere Male gewalzten Knüppel.

Abb. 4.2.2.2.2.4./1	Beispielhafte Aufzählung möglicher Zusatzarbeitsgänge mit ihren Materialverlustprozentsätzen in einer bestimmten Qualitätsgruppe j	
Mögliche Arbeitsgänge	Materialverlust in %	
	bei Roh- und Vorblöcken	bei Knüppel und Halbzeug
Drehen	8	-
Putzen	6	3
Allseitig Flämmen	6	7
Putzflämmen	3	2,5
Allseitig Schleifen	-	8
Putzschleifen	-	2
Anspitzen der Enden	-	4
⋮		

Zur Ermittlung eines globalen Richtwertes für die Vormaterialeinsatzmenge ist der FertigungsprozeB ausgehend vom gewünschten Bestellgewicht in entgegengesetzter Richtung zu durchlaufen, wobei die relevanten Faktoren mit ihren Reziprokwerten anzusetzen sind. Für jede Fertigungsstufe muß in diesem Fall hochgerechnet werden, welcher Materialeinsatz bei gewünschter Ausbringungsmenge erforderlich ist.

Durch den allgemeinen Ausdruck "1/Faktor" werden die entsprechenden Verlustparameter in Zuschlagsparameter umgerechnet.

Ausgehend von einem bestimmten Bestellgewicht BG sind dann zur Ermittlung des Knüppeleinsatzgewichtes HEG und des Vormaterialeinsatzgewichtes VEM folgende Rechenschritte durchzuführen:

Abb. 4.2.2.2.3./1	Einfluß der Vormaterial- und Auftragsdaten auf relevante Restriktionsdaten und Mengenparameter der Halbzeugberechnung

Vormaterialdaten	Auftragsdaten
(1) Qualität	(1) Qualität
(2) Profil	(7) Profil
(3) Querschnitt	(8) Querschnitt
(4) Länge	(9) Lieferlänge
(5) Stückgewicht	(10) Bestellgewicht
(6) Vorhandener Bearbeitungszustand	(11) Walzgruppe
	(12) Erforderliche Zusatzarbeitsgänge

Relevante Restriktions- und Parameterdaten	Einflußfaktoren
Walzgruppe[1] WAGRU	(7), (8)
Walzrestriktionsdaten (Knüppelprofil (13), -querschnitt (14) und -länge (15))	(11), (7), (8)
Gewichts-Toleranzfaktor TOLF[2]	(10), (5) und externe Angabe
Umblock-Walzverlustfaktor WVU	(2), (3), (1), (13), (14)
Fertig-Walzverlustfaktor WVF	(11), {(7), (8)}, (1)
Endenschrott ES	(11), {(7), (8)},
Revisionsfaktor REVF	(11), (1) und externe Angabe
Arbeitsgangfaktoren AGF	(2), (3), (13), (14), (6)

[1] Ihre Festlegung erfolgt zur Zeit manuell.

[2] TOLF = Bestellgewichtsüber- bzw.-unterlieferungsfaktor.

Nutzbare Liefermenge LM	= BG
Nutzbare Walzmenge WM	= BG × $1/REVF_{i,j}$
Halbzeugeinsatzmenge HEG	= WM × $1/WVF_{i,j}$
Knüppelmenge vor Zusatzarbeitsgängen HZM	= HEG × $\prod^{k} 1/AGF_{o,j}$
Vormaterialmenge vor Umblocken VM	= HZM × $1/WVU_{k,o,j}$
Vormaterialeinsatzmenge vor Zusatzarbeitsgängen VEM	= VM × $\prod^{k} 1/AGF_{k,j}$

Das Problem des Endenschrotts, der bei dieser globalen Betrachtung ebenfalls zu berücksichtigen wäre, aufgrund der noch nicht bekannten Knüppelzahl jedoch nicht berücksichtigt werden kann, ließe sich näherungsweise z. B. dadurch lösen, daß man den gültigen Fertig-Walzverlustfaktor WVF um 1 % erhöht.

Bezogen auf das in Abschnitt 4.2.2.2.1. skizzierte Beispiel ließen sich dann unter der Annahme, daß das Bestellgewicht 100 ME (Mengeneinheiten) betrage, die verschiedenen Verlustfaktoren sowie die Knüppel- und Vormaterialeinsatzmenge wie folgt ermitteln:

Revisionsentfall	= 12 %	Revisionsfaktor REVF	= 0,88
Fertig-Walzverlust	= 5 %	Fertig-Walzverlust WVF	= 0,95
Materialverlust (Schleifen)	= 5 %	Arbeitsgangfaktor AGF (Schleifen)	= 0,95
Umblock-Walzverlust	= 3 %	Umblock-Walzverlustfaktor WVU	= 0,97
Materialverlust (Flämmen)	= 6 %	Arbeitsgangfaktor AGF (Flämmen)	= 0,94

HEG = BG × 1/REVF × 1/WVF ×
= 100 × 1,136 × 1,053 ×
= 119,6 ME
==========

VEM = HEG × 1/AGF (Knüppel) × 1/WVU × 1/AGF (Flämmen)
= 119,6 × 1,053 × 1,031 × 1,064
= 138,2 ME
==========

Daraus ist zu ersehen, daß die Knüppeleinsatzmenge um ca. 20 %, die Vormaterialeinsatzmenge um etwa 38 % höher sein muß als das zu deckende Bestellgewicht.

Für die Halbzeugberechnung im engeren Sinne, hier zu verstehen als optimale Vormaterialaufteilung (vgl. dazu den Lösungsvorschlag in Abschnitt 5.2.3.), ist ausgehend von einem bestimmten Vormaterial der Fertigungsprozeß hinsichtlich der zu erwartenden Materialverluste Stufe um Stufe nachzuvollziehen und festzustellen, zu welcher tatsächlichen Liefermenge der Einsatz dieses Vormaterials führt.

Bezogen auf unser Beispiel und unter der Prämisse, daß die Vormaterialmenge 100 ME betrage, ließe sich dann eine nutzbare Liefermenge von

LM = VEMxAGF(Flämmen)xWVUxAGF(Schleifen)xWVFxREVF
= 100x0,94x0,97x0,95x0,95x0,88
= 72,4 ME
=========

erwarten[1].

4.3. Bewertung von Vormaterialaufteilungs- und -zuteilungsalternativen

4.3.1. Bewertung von Vormaterialaufteilungsalternativen

4.3.1.1. Grundsätzliche Möglichkeiten der Vormaterialaufteilung

Bei der Umwandlung quantitativen Substitutionsmaterials in Knüppel, die bei der Fertigwalzung unter Berücksichtigung

---

[1] Es wird darauf verwiesen, daß bei dieser globalen Betrachtung Dispositionsentscheidungen des Sachbearbeiters außer acht gelassen werden. So sind z. B. die Auswirkungen von dispositivem Verschnitt beim Umblocken bzw. bei der Fertigwalzung nicht, der Einfluß des Zwangsverschnitts (Endenschrotts) nur vereinfacht berücksichtigt.

der in Abschnitt 4.2.2.1. genannten Restriktionen eingesetzt werden können, sind unterschiedliche Zielsetzungen möglich.

(1) Es kann angestrebt werden, die Knüppellänge so festzulegen, daß

- die daraus bei der Fertigwalzung entstehende Walzader ganzzahlig durch die vom Kunden vorgegebene Fertigstablänge teilbar ist (Verschnittminimierung bei der Fertigwalzung) und

- der bei der Zwischenwalzung entstehende Knüppelstrang ebenfalls (nach Möglichkeit) ganzzahlig durch die Knüppellänge teilbar ist (Verschnittminimierung bei der Zwischenwalzung)[1].

Das Bestreben, den dispositiven Gesamtverschnitt zu minimieren, kann jedoch u. U. zum Einsatz vieler kleiner Knüppel führen.

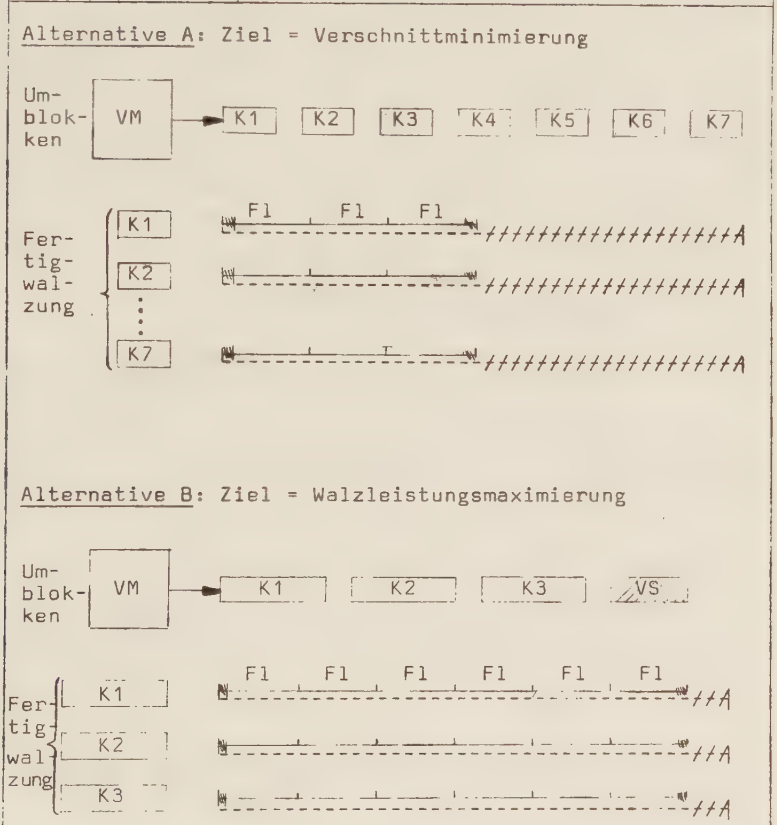
(2) Die relativ veraltete Produktionstechnologie bedingt, daß die bei der Fertigwalzung unproduktive Leerzeit zwischen zwei Knüppeln im Vergleich zu hochautomatisierten Walzstraßen relativ hoch ist (vgl. dazu die Ausführungen in Abschnitt 3.1.). Das Ziel des Walzwerkes liegt aber in maximaler Walzleistung, die nur dann erreicht wird, wenn die Leerzeiten minimiert werden. Die Folge davon ist zwangsläufig der Einsatz möglichst langer Knüppel und damit u. U. die Inkaufnahme von Verschnitt beim Umblockvorgang.

Den hier auftretenden Zielkonflikt zwischen Verschnittminimierung einerseits und Walzleistungsmaximierung andererseits zeigt anhand eines schematischen Beispiels Abbildung 4.3.1.1./1.

---

[1] Es muß bei den folgenden Betrachtungen generell davon ausgegangen werden, daß es aus betriebsorganisatorischen Gründen nicht möglich ist, einen Knüppelstrang in unterschiedlich lange Knüppel aufzuteilen.

Abb. 4.3.1.1./1	Grundsätzliche Möglichkeiten der Vormaterialaufteilung



Während des Zuteilungsprozesses ist zunächst die Entscheidung zu treffen, welche der fertigungstechnisch zulässigen Aufteilungsalternativen[1] die ökonomisch günstigste ist.

Die verschiedenen in diesem Entscheidungsprozeß gegeneinander abzuwägenden Kriterien lassen sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Dimensionen (z. B. Verschnittmengen versus Leer- oder Walzzeiten) sinnvoll nur durch die bereits angesprochene Bewertung miteinander vergleichen bzw. in den Entscheidungsprozeß einbeziehen.

4.3.1.2. Komponenten der Bewertung

4.3.1.2.1. Bestimmung der entscheidungsrelevanten Komponenten

Um herauszufinden, welche Bewertungskriterien eine Aufteilungsentscheidung unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten beeinflussen können, wollen wir zunächst die beiden in unserem schematischen Beispiel (Abbildung 4.3.1.1./1) dargestellten Aufteilungsvarianten dahingehend untersuchen, an welchen Stellen des Fertigungsablaufes bzw. bei welchen Arbeitsgängen unterschiedliche Kosten entstehen. Dabei haben gewisse Aussagen, wie sich zeigen wird, zunächst nur hypothetischen Charakter.

Ein Vergleich beider Aufteilungsmöglichkeiten ergibt folgendes:

(1) Das eingesetzte Vormaterial ist zunächst in beiden Fällen gleich. Daraus ließe sich die Folgerung ableiten, daß die Kosten des zugeteilten Materials vernachlässigt werden könnten.

(2) Die reinen Walzkosten beim Umblocken sind aufgrund des gleichen Materialeinsatzes ebenfalls gleich und daher zu vernachlässigen.

---

[1] Es gibt zwischen den in Abbildung 4.3.1.1./1 skizzierten extremen Möglichkeiten mindestens noch vier weitere (vgl. dazu Abschnitt 5.2.3.).

(3) Bei Alternative A wird der Halbzeugstrang nach der Zwischenwalzung sechsmal getrennt, bei Alternative B hingegen nur dreimal. Geht man davon aus, daß jeder Trennvorgang Kosten verursacht, dann sind die zahlenmäßig unterschiedlichen Trennvorgänge bei der Bewertung zu berücksichtigen.

(4) Alternative B führt im Gegensatz zu Alternative A zu Verschnitt beim Umblocken. Dieser ist in die Entscheidung als wesentliche Komponente miteinzubeziehen.

(5) Die reinen Fertigwalzkosten sind aufgrund der unterschiedlichen Einsatzmengen (Alternative B weist beim Umblocken Verschnitt auf, der nicht fertiggewalzt wird) verschieden und müssen berücksichtigt werden.

(6) Alternative A weist sechs, Alternative B nur zwei Leerzeiten bei der Fertigwalzung auf. Erhöhte Leerzeiten führen aber zu einer Verminderung der Walzleistung und sind daher ebenfalls entscheidungsrelevant.

(7) Der je Walzader anfallende Endenschrott tritt bei Alternative A siebenmal, bei Alternative B jedoch nur dreimal auf und ist somit in die Bewertung miteinzubeziehen.

(8) Der Schneideaufwand nach der Fertigwalzung ist bei Alternative A größer (28 Schnitte) als bei Alternative B (21 Schnitte) und somit zu berücksichtigen.

Während sich die Komponenten

- Trennkosten beim Umblocken (3),
- reine Fertigwalzkosten (5),
- Leerzeitkosten (6) und
- Schneideaufwand nach Fertigwalzung (8)

ohne große Schwierigkeiten ermitteln lassen (siehe dazu Abschnitt 4.3.1.2.3.), stellt sich die Frage, wie die anfallenden Verschnitte bewertet werden sollen.

Es ist zu bedenken, daß der auftretende Verschnitt einst bei der Herstellung des Vormaterials, aus dem er stammt, Material- und Fertigungskosten (beispielsweise im Stahlwerk und an der Blockstraße) verursacht hat und daß er auch jetzt bei den betrachteten Walzvorgängen zu Kosten führen würde.

Während der Walzaufwand für den Zwangsverschnitt bei der Fertigwalzung in die reinen Walzkosten eingeht, blieben die anteiligen Walzkosten beim Umblockvorgang nach Aussage (2) unberücksichtigt. Ebenso verhielte es sich mit den dem Verschnitt zurechenbaren Erschmelzungs- und sonstigen Bearbeitungskosten. Dies würde zwangsläufig zu einer Verfälschung der Bewertungsergebnisse führen. Daher ist es bewertungstechnisch unzulässig, wie in (1) und (2) festgestellt, die Material- und Umblockkosten gänzlich außer acht zu lassen.

Vielmehr ist der Gesamtverschnitt zunächst mit den anteiligen Materialkosten vor seiner Zuteilung und dann mit den auf ihn fallenden, durch die Zuteilung verursachten Fertigungskosten (z. B. Flämmen, Umblocken) zu bewerten und einer Aufteilungsalternative zuzurechnen.

Andererseits ist der anfallende Verschnitt nicht verlorenes Material, wie z. B. der bei Walzprozessen entstehende Abbrand, sondern Material, das nach der Fertigwalzung eines Auftrages dem Stahlwerk wieder als Einsatzmaterial (Rohstoffeinsatz) zugeführt bzw. "verkauft" wird[1]. Daher sind bei der Bewertung die auf den Verschnitt anfallenden Material- und Bearbeitungskosten um die vom Stahlwerk zu

---

[1] Vgl. dazu die Ausführungen in Abschnitt 4.3.1.2.3.8.

erwartende Gutschrift, den sogenannten Schrotterlös, zu reduzieren[1].

Die isolierte Bewertung des Verschnitts ist grundsätzlich möglich, wenn auch z. T. etwas umständlich.

Relativ einfach läßt sich das Problem der Verschnittkosten lösen, wenn man in die Bewertung generell auch die gesamten Material- und Umblockkosten sowie die Kosten sämtlicher durchzuführender Zusatzarbeitsgänge (die wir in diesem Beispiel nicht betrachten) einfließen läßt und am Ende den Gesamtkostenwert um den für den Gesamtverschnitt erhältlichen Schrotterlös reduziert. Auf diese Weise wird der Verschnitt wohl nicht explizit bewertet und ausgewiesen, es ist jedoch sichergestellt, daß seine anteiligen Herstell- und Fertigungskosten in die Bewertung eingehen. Darüber hinaus hat diese Vorgehensweise den Vorteil, daß später bei der Bewertung der Zuteilungsalternative[2] die dort entscheidungsrelevanten Kostenkomponenten zum überwiegenden Teil bereits vorhanden sind.

Abbildung 4.3.1.2.1./1 zeigt einen zusammenfassenden Überblick über die relevanten ökonomischen Komponenten der Vormaterialaufteilung.

---

[1] Bei exakter Betrachtung müßten an dieser Stelle die Kosten des physischen Transports des Verschnitts vom Walzwerk in das Stahlwerk als zusätzliche Kostenkomponente in die Bewertung eingehen. Wegen der Abgrenzung des Forschungsvorhabens (siehe Abschnitt 1.4.1.) und der relativ geringen Bedeutung dieser Komponente wird auf deren eingehende Erörterung und Berücksichtigung bewußt verzichtet.

[2] Vgl. dazu Abschnitt 4.3.2. und 5.2.4.

Abb. 4.3.1.2.1./1	Kostenkomponenten der Vormaterialaufteilung

Materialkosten + Kosten zusätzl. Arbeitsgänge + Umblockkosten + Aufteilkosten	eines Vormaterials
+ Kosten zusätzl. Arbeitsgänge + reine Fertigwalzkosten + Leerzeitkosten	für die Knüppel eines Vormaterials
+ Schneidekosten	(für die Stäbe der Knüppel eines Vormaterials)
- Schrotterlös für Gesamtverschnitt	
= (entscheidungsrelevante) Kosten einer Aufteilungsalternative	

4.3.1.2.2. Wahl der Bezugsbasis für Kostenvergleiche

Die Kosten verschiedener Aufteilungsalternativen sind als solche - absolut gesehen - nicht miteinander vergleichbar. Sie beziehen sich wohl auf das gleiche Einsatzmaterial, nicht jedoch auf die gleiche Ausbringungsmenge. So ist in unserem Beispiel die Ausbringung bei Alternative A 21 Stäbe, bei Alternative B hingegen nur 18 Stäbe. Wären die absoluten Kosten bei A z. B. größer als bei B, dann würde ein direkter Vergleich zum Verwerfen der Alternative A führen.

Es ist daher für Kostenvergleiche eine Bezugsbasis zu schaffen, die einen objektiven Vergleich erlaubt.

Als derartige Bezugsbasis wäre z. B. ein einzelner Walzstab denkbar. Dabei ist aber zu berücksichtigen, daß die Wahl des Einzelstabes nur bei Fixlängen objektive Vergleichswerte erwarten läßt, während bei variablen Längen unterschiedliche Aufteilungsalternativen zu unterschiedlichen Stablängen führen können, die die Prämisse der einheitlichen Vergleichsbasis nicht mehr gewährleisten.

Als Ausweg bietet sich an, die Kosten einer Aufteilungsalternative auf die aus dem Vormaterial erhältliche Walzmenge zu beziehen. Dadurch wird die einheitliche Bezugsbasis (z. B. Kosten pro ME des Fertigmaterials) für sämtliche Aufteilungsalternativen sichergestellt.

Wird das eben beschriebene Bewertungsprinzip für alle technisch zulässigen Aufteilungsmöglichkeiten angewandt, dann erhält man durch Zwischenspeichern der jeweils günstigsten Alternative (bezogen auf die einheitliche Bezugsbasis) schließlich auch die wirtschaftlich günstigste Vormaterialaufteilung.

4.3.1.2.3. Analyse und Struktur der relevanten Kostenkomponenten bzw. Bewertungsansätze

In den nächsten Abschnitten werden die verschiedenen Kostenkomponenten dahingehend untersucht, auf welche Weise die relevanten Bewertungsansätze zustande kommen und welche Einflußfaktoren die Höhe der Wertansätze determinieren.

Für jede der Komponenten werden als Bewertungsansatz

- ein Verrechnungssatz und
- eine entsprechende Bezugseinheit

vorgeschlagen[1]. Anhand dieser Angaben sollte es dann möglich sein, während des Zuteilungsprozesses eine entscheidungsorientierte Kostenbewertung durchzuführen.

Das Mengengerüst für die Errechnung der absoluten Kostenwerte wird bei dieser Betrachtung als bekannt vorausgesetzt. Die Ermittlung dieser Daten ist in Abschnitt 5.2.3. beschrieben.

4.3.1.2.3.1. Vormaterialkosten

Bei der Ermittlung eines für die Zwecke der Vormaterialdisposition geeigneten Materialbewertungsansatzes spielen eine Reihe von Überlegungen eine Rolle. An dieser Stelle der Problemanalyse ist es aber von der Sache her noch nicht möglich, alle Aspekte, vor allem jene, die bei der Bewertung von Zuteilungsalternativen zu beachten sind, didaktisch ausreichend verständlich zu erläutern. Deshalb wird hier auf eine ausführliche Darstellung verzichtet und auf Abschnitt 4.3.2.2.1. verwiesen.

Zum Verständnis der folgenden Abschnitte genügt das Wissen, daß in den Wert, den ein bestimmtes Vormaterial vor seiner Zuteilung verkörpert, wieder unterschiedliche Kostenkomponenten, die bei seinem bisherigen Werdegang angefallen sind (Rohmaterialeinsatz, Erschmelzungskosten, Kosten der bisher durchgeführten Bearbeitungsschritte), einfließen.

---

[1] Bei der Festlegung der verschiedenen Verrechnungssätze wurde weitgehend darauf Rücksicht genommen, daß z. B. eingehende Leistungsdaten aufgrund in der Praxis vorhandener Leistungsberichte ohne großen zusätzlichen Datenerfassungsaufwand verfügbar sind. Dort, wo unterschiedliche qualitäts- und dimensionsabhängige Einflußkriterien eine größere Differenzierung der Verrechnungssätze zweckmäßig erscheinen lassen, wurde diese durchgeführt. Dabei ist sich der Verfasser bewußt, daß bei der Konkretisierung in der Praxis noch ein erheblicher Datenerhebungsaufwand zu erbringen ist. Vor der praktischen Durchführung wäre daher noch zu analysieren, ob der Aufwand für diese Differenzierung von der Nutzenseite her gerechtfertig ist, oder ob man sich eventuell mit groben Verrechnungssätzen begnügen soll-

4.3.1.2.3.2. Bearbeitungskosten

Als Bearbeitungskosten seien die Kosten definiert, die bei der Durchführung von Zusatzarbeitsgängen (siehe dazu die Aufzählung in Abschnitt 4.2.2.2.2.4.) anfallen.

Generell gilt die triviale Feststellung, daß die Kosten eines bestimmten Arbeitsganges je Mengeneinheit ME abhängig sind von der benötigten Zeit je ME und dem gültigen Verrechnungssatz je Zeiteinheit ZE (z. B. Minute).

Eine nähere, wenn auch nicht bis ins letzte Detail durchgeführte Analyse der beiden eben genannten Faktoren ergab folgendes:

(1) Die benötigte Bearbeitungszeit wird wesentlich beeinflußt vom Profil und der Dimension sowie von der Qualität des eingesetzten Materials. So ist z. B. der Zeitaufwand je ME bei großdimensionierten Materialien aufgrund der größeren Bearbeitungsflächen und des geringeren Handlings in der Regel geringer als bei kleindimensioniertem Halbzeug. Andererseits kann der Zeitaufwand bei Vormaterialien gleicher Dimension aber unterschiedlicher Qualität bei hochlegierten Stählen größer sein als bei "weicheren" Stählen.

(2) Auf die für die Bewertung relevanten Kosten je ZE, bei denen es sich immer nur um variable, beschäftigungsabhängige Kosten handelt, haben

- der für die Bearbeitung erforderliche Energieverbrauch,
- der Verbrauch an Hilfs- und Betriebsstoffen,

- die anfallenden variablen Lohnkosten[1] und
- der zu erwartende Werkzeugverschleiß (nutzungsbedingte Wertminderung)

einen wesentlichen Einfluß.

Der Verbrauch an Energie, Hilfs- und Betriebsstoffen sowie der anteilige Werkzeugverschleiß wird überwiegend von der Qualität des Materials, daneben aber auch noch von der zu bearbeitenden Dimension determiniert[2].

Der variable Lohnkostenanteil besteht weitgehend aus Zuschlägen für die Bearbeitung besonderer Dimensionen und/oder Qualitäten bzw. aus Akkord- oder Prämienzuschlägen.

Die eben skizzierten Dependenzen sind in Abbildung 4.3.1.2.3.2./1 nochmals strukturiert dargestellt.

Es ist natürlich für Zwecke der täglich im Rahmen des Dispositionsprozesses durchzuführenden Vormaterialbewertung nicht opportun, die eben skizzierten Zusammenhänge z. B. anhand von mathematischen Formeln und Gleichungen[3]

---

[1] Ein großer Teil der Gesamtlohnkosten, nicht nur in den Abteilungen, in denen Zusatzarbeitsgänge durchgeführt werden sondern auch an den Walzstraßen, hat fixen Charakter. Kahnis (a.a.O., S. 35 f.) spricht von ca. 80 % und weist darauf hin, daß die Kostenremanenzerscheinungen bei Beschäftigungsrückgang gerade im Bereich der Stahlindustrie von erheblicher Bedeutung sind. Als variable Kostenanteile sind daher im wesentlichen nur Lohnzuschläge anzusehen. Ähnliche Aussagen finden sich auch in Wagner, Ch., Baumann, H. G. und Schenck, H., Technisch-wirtschaftliche Möglichkeiten der Herstellung von Stahlbrammen durch Blockgießen und Walzen unter besonderer Berücksichtigung der betrieblichen Verarbeitungkosten, Stahl und Eisen 95 (1975) 15, S. 697 ff.

[2] So ist z. B. bei härteren Qualitäten mehr Energie und mehr Zeit aufzuwenden, damit der gleiche Bearbeitungseffekt erzielt wird, als bei weicheren Qualitäten. - Ähnlich wie auf den Energieverbrauch wirkt sich auch die Härte der Qualität auf die Beanspruchung und damit Abnutzung der Werkzeuge aus. Daher sind die anteiligen nutzungsbedingten Instandhaltungs- und Erneuerungskosten in den Verrechnungssatz aufzunehmen.

[3] Vgl. dazu die Ausführungen in Kahnis, W., a.a.O., S. 32 ff.

nachzubilden. Vielmehr wird es genügen, aufgrund dieser Einflußfaktoren einmalige Verrechnungssätze zu bilden, die nur von Zeit zu Zeit auf ihre Gültigkeit hin zu überprüfen und eventuell zu modifizieren sind.

Für Bewertungszwecke reicht auch hier analog zu Abschnitt 4.2.2.2.2.1. eine Differenzierung nach Qualitätsgruppen und Dimensionsklassen.

Als Bezugseinheit wird aus rechentechnischen Gründen die ME des zu bearbeitenden Materials gewählt.

Der Arbeitsgangkostensatz $AGKS_{k,j}$ für Material einer bestimmten Dimensionsklasse k und Qualitätsgruppe j errechnet sich dann aus dem Ausdruck

(Zeit je ME) x (Kosten je ZE).

4.3.1.2.3.3. Umblockkosten

Wesentliche Faktoren zur Ermittlung der Walzkosten beim Umblocken sind die Walzleistung (Menge pro ZE) und der Kostensatz je ZE.

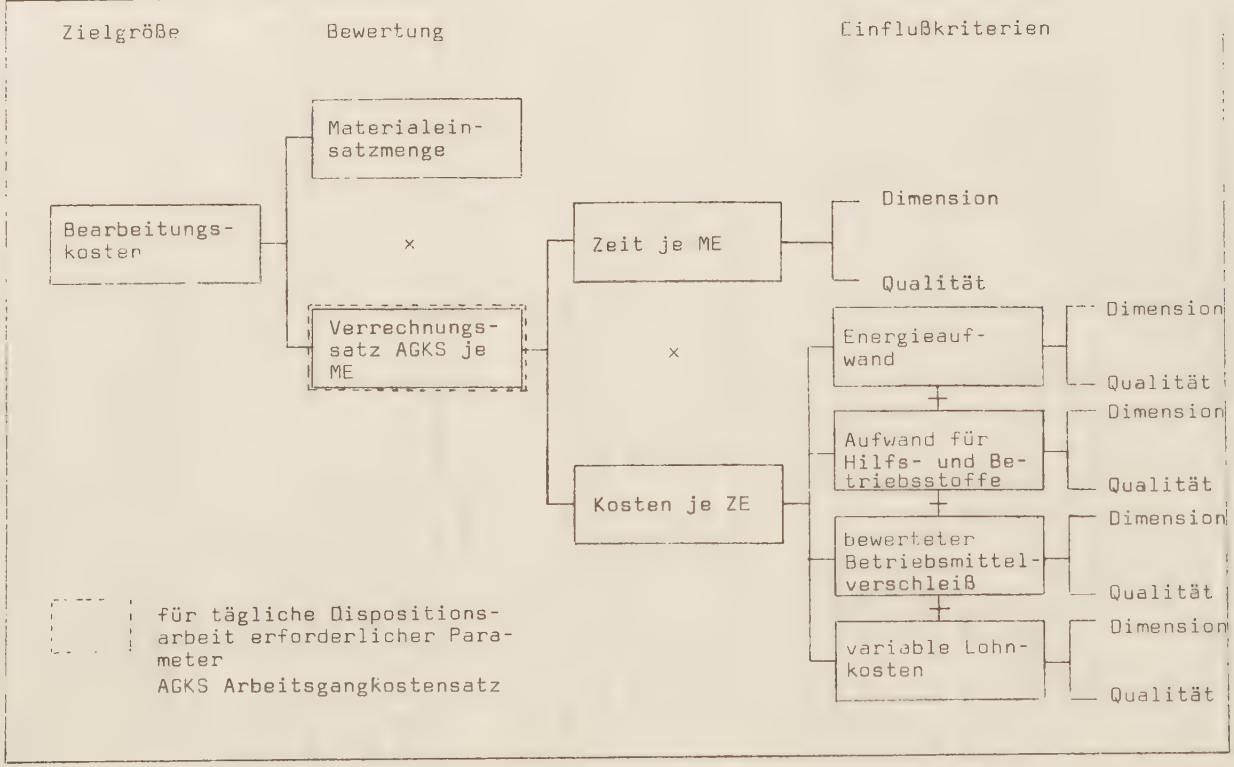
Die Walzleistung wird überwiegend bestimmt vom Querschnitt des einzusetzenden Vormaterials QVM und vom Querschnitt des angestrebten Halbzeugs QH.

Je größer der Vormaterialquerschnitt ist, um so mehr Stiche werden beim Walzen auf eine bestimmte Knüppeldimension erforderlich sein und um so geringer ist die Walzleistung[1].

---

[1] Diese Aussage gilt nur für Revesier- und nicht für vollkontinuierliche Walzstraßen. Dort ist diese Relation genau umgekehrt.

Abb. 4.3.1.2.3.2./1 Struktur und Einflußkriterien der Bearbeitungskosten



Die reinen variablen Kosten je ZE sind u. a. abhängig vom Energieaufwand, der zur Materialumwandlung erforderlich ist, vom Verschleiß, dem die Walzaggregate unterliegen, und von den variablen Lohnkosten.

Der Energieverbrauch, der in diesem Zusammenhang von erheblicher Bedeutung ist, wird seinerseits beeinflußt von der Dimension und Qualität des Materials.

Die Dimension bewirkt z. B., daß bei einem relativ großen Verformungsgrad eine größere Zahl von Walzkalibern durchlaufen werden muß als bei einem kleineren Verformungsgrad. Jeder Walzendurchlauf erfordert aber einen bestimmten Energieverzehr zum Antrieb der Aggregate.

Ein gewisser kausaler Einfluß auf die Höhe des Energieverbrauchs ist auch der Qualität des Walzmaterials zuzuschreiben. So gibt es beispielsweise verschiedene (hochlegierte) Qualitäten, die bei der Transformation von einem größeren zu einem kleineren Querschnitt wesentlich mehr Energie benötigen als andere. Auch diese Tatsache ist bei der Festsetzung eines Kostensatzes zu berücksichtigen.

Ähnliche Überlegungen, wie sie eben angesprochen wurden, gelten auch für die Ableitung des fertigungstechnisch bedingten Verschleißes der Walzaggregate und der damit verbundenen Kosten[1]. Je mehr Walzaggregate zu durchlaufen sind, um so höher wird die technische und damit auch die ökonomische Verschleißrate, die diesem Vormaterial anzulasten ist.

---

[1] Bekanntlich tritt ja bei jedem Durchlauf von Material durch Walzenkaliber eine mehr oder weniger starke Abnutzung der Kaliberoberfläche auf. Diese Abnutzung führt dazu, daß nach einer relativ kurzen Zeit des Gebrauchs die Walzen ausgewechselt und die Oberflächen "nachgedreht" werden müssen (sofern dies technisch noch möglich ist). Nach einer längeren Zeit des Gebrauchs sind die Walzenkaliber in der Regel zu verschrotten und durch neue zu ersetzen. Instandhaltung, Wechsel und Neufertigung der benötigten Walzenkaliber stellen aufgrund der besonderen Stahlqualitäten und Fertigungsverfahren, die dabei zu verwenden sind, einen erheblichen Kostenfaktor dar, der nach dem Verursachungsprinzip auf die Kostenträger (Walzmaterial) umzulegen ist.

Auch die Tatsache, daß hochlegierte Stähle in der Regel zu erhöhter Abnutzung der Walzenkaliber führen, ist zu berücksichtigen.

Ähnlich wie bei den Walzverlustfaktoren ist auch hier eine Differenzierung der Verrechnungssätze nach Einsatz- und Ausbringensdimensionsklassen je Qualitätsgruppe vorzunehmen und als Bezugsbasis die Mengeneinheit zu wählen.

Der Umblock-Walzkostensatz $WKSU_{k,o,j}$ für Material der Qualitätsgruppe j, das von Dimensionsklasse k auf Dimensionsklasse o zwischenzuwalzen ist, errechnet sich dann aus dem Ausdruck (Zeit je ME) x (Kosten je ZE). (Vgl. dazu auch die Abbildung 4.3.1.2.3.3./1.)

4.3.1.2.3.4. Aufteilkosten für Halbzeugstrang

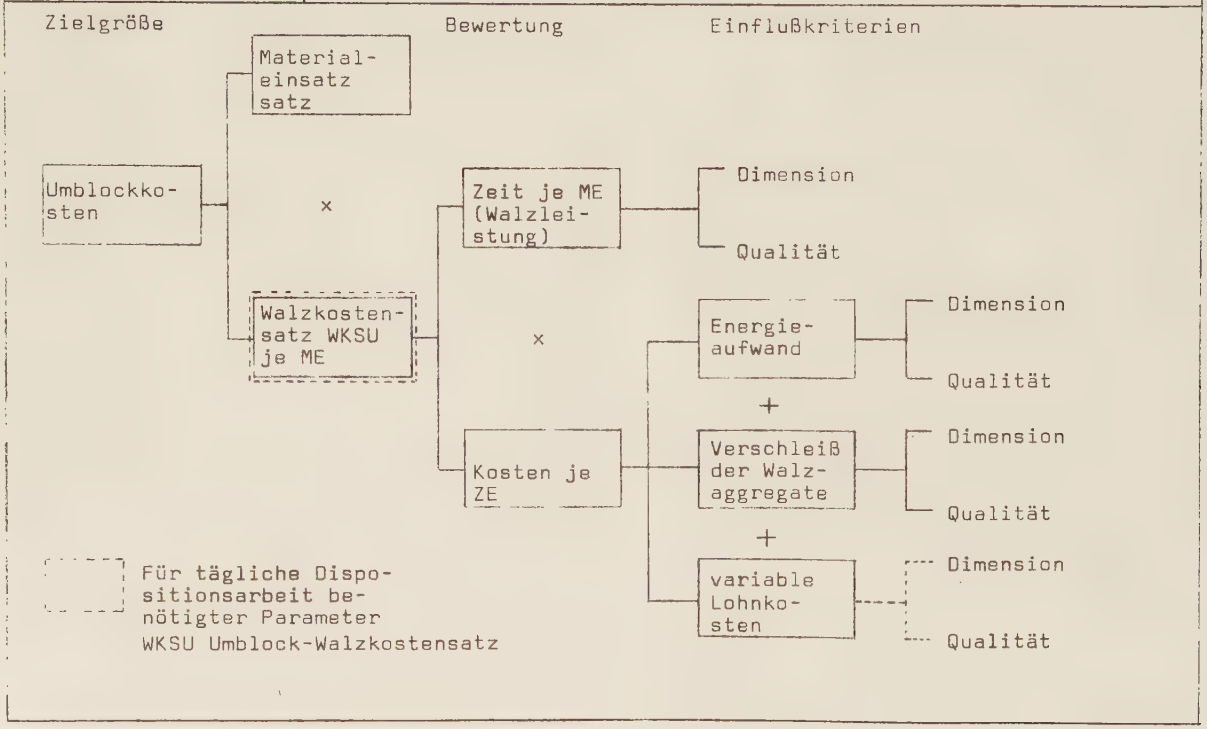
Bei der Ermittlung der Aufteilkosten je Vormaterial sind im wesentlichen zwei Einflußfaktoren zu berücksichtigen: der Energieverbrauch und die Verschleißrate. Letztere beinhaltet den technischen Verschleiß, der durch einen Trennvorgang an einer Schere oder Säge entsteht und nach einer relativ großen Anzahl von Aktivitäten zur Erneuerung bzw. Überarbeitung (z. B. Schleifen) des Werkzeuges zwingt.

Energieaufwand und Verschleißanfall ihrerseits werden wieder von der Qualität und Dimension des zu trennenden Materials beeinflußt. Diese Tatsache führt bei exakter Bewertung zur Festlegung eines dimensionsklassen- und qualitätsgruppenabhängigen Aufteilkostensatzes $AKS_{k,j}$.

4.3.1.2.3.5. Reine Fertigwalzkosten

Unter den reinen Fertigwalzkosten sind jene Kosten zu verstehen, die anfallen, während ein Knüppel die Walzgerüste durchläuft. Zeitliche Zwischenräume zwischen den einzelnen Knüppeln werden gesondert bewertet (siehe nächsten Abschnitt).

Abb. 4.3.1.2.3.3. /1 Struktur und Einflußkriterien der Umblockkosten



Bei der Ermittlung der Fertigwalzkosten spielen ebenfalls die zu erwartende Walzleistung und der Kostensatz je ZE eine erhebliche Rolle. Ähnlich wie die Walzleistung auf der Umblockstraße wird diese bei der Fertigwalzung neben dem erforderlichen Anstichquerschnitt der einzusetzenden Knüppel noch wesentlich beeinflußt vom auszuwalzenden Profil und Querschnitt des Fertigproduktes sowie von der Qualität des zu walzenden Materials.

Anstichquerschnitt, Profil und Dimension des Fertigproduktes sind aber die Determinanten, die zur Bildung von Walzgruppen führen. Aus diesem Grund könnte man auch sagen, daß die Walzleistung abhängig ist von der Walzgruppe und der zu walzenden Qualität, wobei unter Qualität hier wieder Qualitätsgruppen zu verstehen sind.

Die Einflußkriterien, die die Höhe der Walzkosten je ZE bestimmen, sind die gleichen, wie sie in Abschnitt 4.3.1.2.3.3. bei der Erörterung der Umblockkosten besprochen wurden.

Für die Bewertung läßt sich schließlich aus den Faktoren Walzleistung und Walzkosten je ZE der Walzkostensatz $WKSF_{i,j}$ je Walzgruppe i und Qualitätsgruppe j ableiten (vgl. dazu auch Abbildung 4.3.1.2.3.5./1).

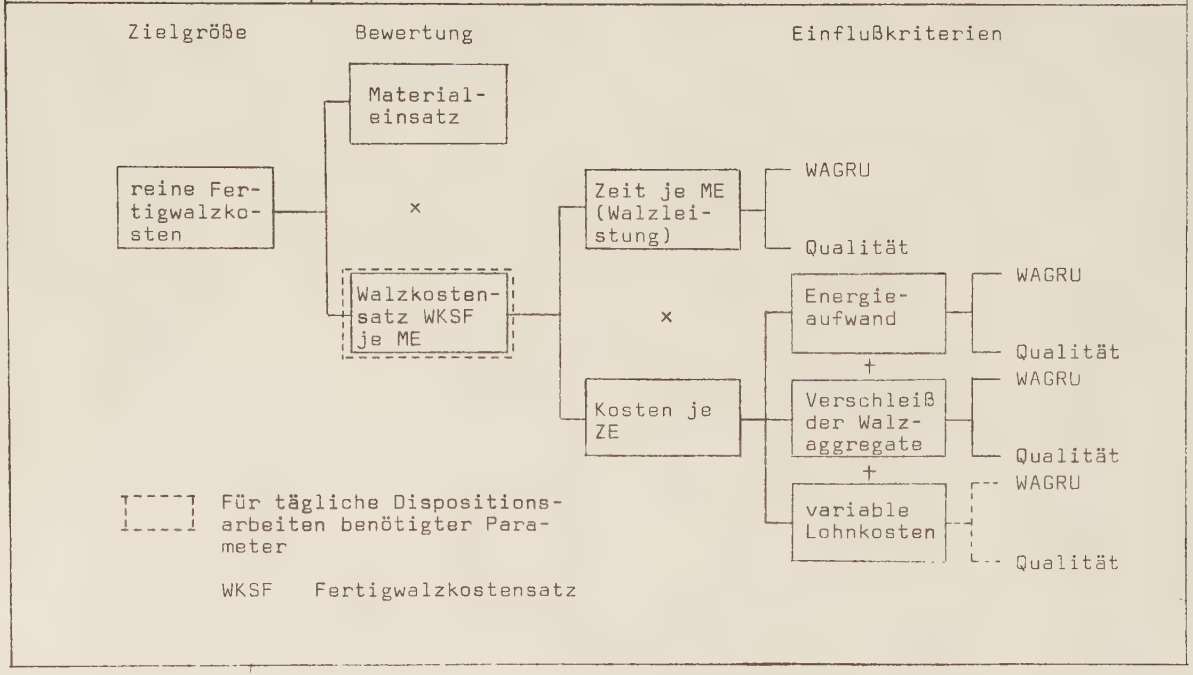
4.3.1.2.3.6. Leerzeitkosten

Als Leerzeit sei die Zeit definiert, die zwischen dem Austritt eines Knüppels aus dem ersten Walzenpaar und dem Eintritt des nächsten Knüppels in dieses Walzenpaar verstreicht. Sie ist im wesentlichen abhängig von der reinen Walzleistung einer Straße und dem notwendigen Handling während des Walzvorgangs[1].

---

[1] In gewissen Fällen, vor allem bei sehr kurzen Knüppeln, kann auch die Kapazität des vorgelagerten Stoßofens restriktiv, d. h. leerzeiterhöhend wirken. Da dieser Aspekt nur eine untergeordnete Rolle bei der Lösung des Gesamtproblems darstellt, wird er in dieser Betrachtung ganz außer acht gelassen.

Abb. 4.3.1.2.3.5./1 Struktur und Einflußkriterien der reinen Fertigwalzkosten



Aufgrund der relativ starken Abhängigkeit von der Walzleistung, die ja ihrerseits wieder abhängig von der Walz- und Qualitätsgruppe des betrachteten Materials, ist die Leerzeit $LZ_{i,j}$ als Absolutwert (Minuten) je Walzgruppe i und Qualitätsgruppe j zu berücksichtigen. Zur Bewertung dient ein vom Beschäftigungsgrad abhängiger Leerzeitkostensatz $LZKS_i$ je ZE und Walzgruppe.

In Zeiten nicht voll ausgelasteter Kapazitäten wird dieser Kostensatz durch die beim "Leerlauf" der Walzaggregate anfallenden variablen Kosten - in erster Linie für Energieaufwand und Betriebsmittelverschleiß - determiniert und unter dem Walzkostensatz WKSF liegen. Bei knappen Kapazitäten hingegen, wo man eine Maximierung des Mengendurchsatzes (= Einsatz langer Knüppel) anstrebt, besteht die Möglichkeit, unter Opportunitätskostengesichtspunkten entgehende Deckungsbeiträge in den Leerzeitkostensatz aufzunehmen, dadurch die Leerzeiten ungleich stärker zu bewerten und so u. U. andere Aufteilungsentscheidungen herbeizuführen (vgl. dazu Abschnitt 5.4.2.).

4.3.1.2.3.7. Schneidekosten des Fertigmaterials

Für die Schneidekosten des Fertigmaterials gelten die gleichen Überlegungen wie für die Aufteilkosten des Halbzeugstrangs.

Es ist auch hier ein walz- und qualitätsgruppenabhängiger Schneidekostensatz $SKS_{i,j}$ festzulegen.

4.3.1.2.3.8. Schrotterlös

Der Schrotterlös kann gewissermaßen als "negative Kostenkomponente" bei der Bewertung von Aufteilungs- und Zuteilungsalternativen angesehen werden. Er dient in erster Linie der Bewertung von anfallendem Verschnitt mit seinen

Materialkosten - gleichgültig ob nach der Umblock- oder Fertigwalzungsphase - und beruht auf der Tatsache, daß Materialabfälle in der Regel dem Stahlwerk wieder als "Rohstoffeinsatz" zugeführt werden. Infolgedessen darf der Verschnitt einer Aufteilungsalternative nur mit den ihn betreffenden Produktions- und Bearbeitungskosten, nicht jedoch mit seinen Rohstoffkosten in die Bewertung eingehen.

Als Verrechnungssatz für den Schrotterlös SE ist es ausreichend, entweder einen Prozentsatz der Erschmelzungskosten[1] oder einen Absolutwert für eine ME je Marke bereitzuhalten.

4.3.2. Bewertung von Zuteilungsalternativen

4.3.2.1. Bestimmung der relevanten Kostenkomponenten

Die Errechnung der günstigsten Aufteilungsalternative eines Vormaterials ist gewissermaßen nur eine Unterfunktion, wenn es darum geht, Aufträge aus lagerndem Material zu decken. Die Zielsetzung des Disponenten besteht letztlich darin, aus einer Reihe verschiedener Vormaterialpositionen eine Zuteilungsalternative zu realisieren, die die betriebliche Zielsetzung (z. B. Kostenminimierung) sowie die Kundenanforderungen am ehesten erfüllt.

Obwohl in der Regel aus betriebsorganisatorischen und qualitativen Gründen angestrebt wird, einen Auftrag

- aus einer Vormaterialposition
- und hier wieder nach Möglichkeit durch Zuteilung einer bestimmten, ohne Restanfall einsetzbaren Vormaterialmenge

---

[1] Siehe dazu Abschnitt 4.3.2.2.1.

zu decken, sind auch jene Fälle grundsätzlich zulässig, bei denen Rest anfällt oder mehrere unterschiedliche Vormaterialpositionen zur Auftragsdeckung herangezogen werden.

Beim Abwägen verschiedener Zuteilungsalternativen ist theoretisch auch die Alternative "Neuerschmelzung" als eine im Prinzip immer realisierbare Zuteilungsmöglichkeit in den Entscheidungsprozeß miteinzubeziehen. Abbildung 4.3.2.1./1 enthält eine Übersicht über die denkbaren Möglichkeiten der Auftragsdeckung.

Ein realistischer und objektiver Vergleich verschiedener Entscheidungsalternativen ist, wie schon erwähnt, nur über eine Bewertung relevanter Kostenkomponenten möglich. Dabei ist darauf zu achten, daß nur solche Komponenten in die Bewertung eingehen, die durch die Realisierung einer Zuteilungsalternative verursacht bzw. verhindert werden.

Durch diese grundsätzliche Feststellung kommt implizit zum Ausdruck, daß

- alle Kosten, die in der Vergangenheit (aufgrund früherer Entscheidungen) für ein Vormaterial angefallen sind, und

- alle fixen Kosten (die aus anderen Gründen einem Vormaterial eventuell zugerechnet werden)

bei der Bewertung einer Zuteilungsmöglichkeit nicht berücksichtigt werden dürfen.

Oder anders ausgedrückt: Es sind nur solche variablen Kosten in die Bewertung miteinzubeziehen, die

- in der Gegenwart <u>durch</u> die Zuteilung bzw. Neuerschmelzung eines bestimmten Vormaterials entstehen bzw.

- in der Zukunft <u>wegen</u> der Zuteilung oder Neuerschmelzung eines bestimmten Materials zum gegenwärtigen Zeitpunkt entstehen oder verhindert werden.

Abb. 4.3.2.1./1	Grundsätzliche Möglichkeiten der Auftragsdeckung

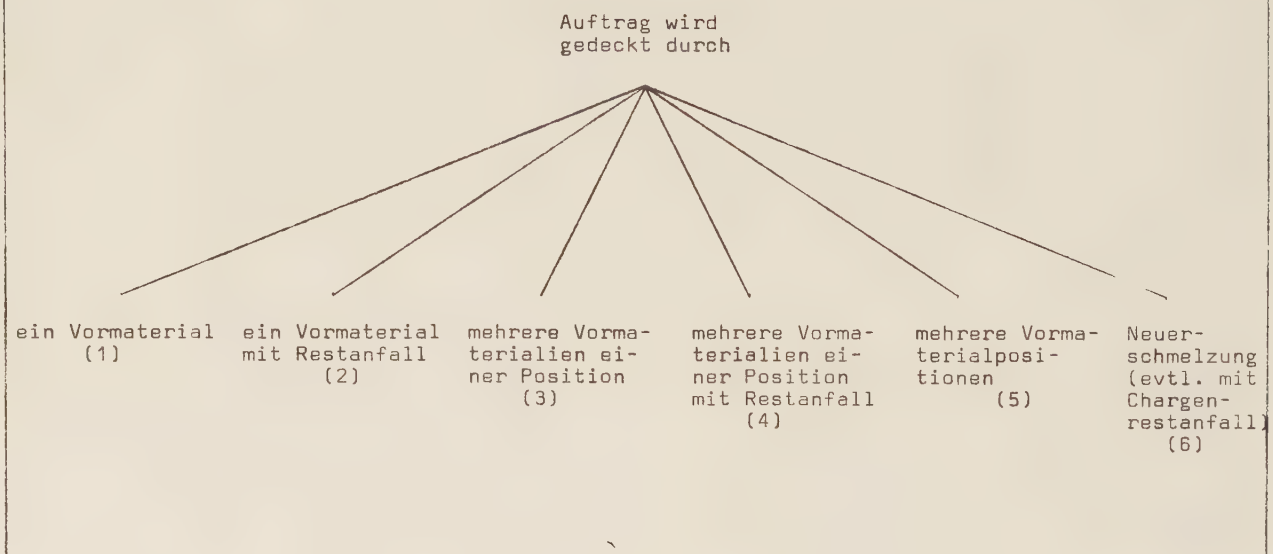


Abbildung 4.3.2.1./2 zeigt in einer globalen Übersicht die verschiedenen relevanten Kostenkomponenten. Daraus ist zu ersehen, daß in die Bewertung auf jeden Fall die Kosten eingehen, die auch beim Bestimmen von Aufteilungsalternativen entscheidungsrelevant sind (vgl. dazu Abschnitt 4.3.1.2.3.).

Über die Material- bzw. Reproduktionskosten (vgl. dazu die Ausführungen des nächsten Abschnittes) ist es z. B. möglich, eventuell höhere Material- aber geringere Walz- und Verschnittkosten der Zuteilungsalternative in einer Substitutionsmarke geringeren Material- aber höheren Walz- und Verschnittkosten einer Alternative in der Basismarke gegenüberzustellen.

Unterschiedliche Lagerorte sind durch die anfallenden Transportkosten (Abschnitt 4.3.2.2.2.) in der Bewertung zu berücksichtigen.

Als große kostenmindernde Komponente sind bei jeder Zuteilungsalternative jene Kosten zu betrachten, die durch eine etwaige Realisierung für die Zukunft vermieden werden. Dazu zählen in erster Linie die Kosten der Lagerhaltung und Kapitalbindung der betrachteten Vormaterialposition (siehe Abschnitt 4.3.2.2.3.).

Andererseits ist zu berücksichtigen, daß in jenen Fällen, wo Vormaterialien nicht zur Gänze für einen Auftrag verwendet werden (Abbildung 4.3.2.1./1, Zuteilungsmöglichkeit (2) und (4)), die Material- und anteiligen Produktionskosten für das ans Lager rückzuliefernde Material einer Zuteilungsalternative nicht vollständig zugerechnet werden dürfen (siehe Abschnitt 4.3.2.2.4.).

Abb. 4.3.2.1./2	Kostenkomponenten bei der Bewertung von Zuteilungsalternativen

Relevante Zuteilungskosten

verursachte bzw. mit zeitlicher Verzögerung entstehende Kosten	verhinderte Kosten
- Material- bzw. Reproduktionskosten* - Walzkosten[1]* - Verschnittkosten* - übrige Bearbeitungskosten* - Transportkosten - Lagerkosten für Rückliefermaterial (- Lagerkosten für Komplettierungsbestände bei Neuerschmelzung)	- Lagerkosten bis zur anderweitigen Verwendung des Materials - Reproduktionskosten des Rückliefermaterials

*Die Höhe dieser Kostenkomponenten wird weitgehend in der Aufteilungsrechnung bestimmt.

[1] Einschl. Schneide- und Leerzeitkosten

4.3.2.2. Analyse und Struktur einiger relevanter Kostenkomponenten[1)]

4.3.2.2.1. Materialkosten

4.3.2.2.1.1. Grundsätzliche Überlegungen zur Berücksichtigung der Materialkosten

Im vorhergehenden Abschnitt wurde festgestellt, daß in die Bewertung einer Zuteilungsalternative alle Kosten miteinzubeziehen sind, die bei deren Realisierung entstehen bzw. vermieden werden. Eine strenge Auslegung dieses Bewertungsgrundsatzes müßte dazu führen, daß die Kosten zur Herstellung eines Materials, das nun zugeteilt werden soll, nicht berücksichtigt werden, handelt es sich doch dabei um Kosten, die bereits in der Vergangenheit angefallen sind.

Eine derartige restriktive Betrachtungsweise hätte zur Folge, daß dann, wenn beispielsweise zwei Zuteilungsalternativen zur Auswahl stehen, bei denen sich eine auf Vor- bzw. Rohblöcke, die andere hingegen auf im Querschnitt, nicht jedoch in der Länge passendes Halbzeug bezieht, generell jenes Material bevorzugt zugeteilt würde, das den höheren Fertigungsgrad aufweist. Die relevanten Be- und Verarbeitungskosten wären hier in der Regel zwangsläufig geringer als bei jener Alternative, wo noch zusätzliche Umblockvorgänge durchzuführen wären. Diesen Sachverhalt zeigt Abbildung 4.3.2.2.1.1./1 durch Gegenüberstellung von (A) und (B) in tabellarischer Form.

Geht man hingegen von der praxisnahen Prämisse aus, daß ein eben betrachtetes Vormaterial in Zukunft für einen anderen Auftrag ebenfalls zu verwenden wäre, dann würde eine Zuteilung in der Gegenwart u. U. dazu führen, daß dieses

---

[1)] In den folgenden Ausführungen werden nur jene Kostenkomponenten abgehandelt, die nicht schon in Abschnitt 4.3.1.2.3. näher untersucht wurden.

Material in Zukunft wieder hergestellt werden muß. Dispositiv bedeutet das, daß zum Wiederverwendungszeitpunkt TWV an die Stelle dieses Vormaterials ein Rohblock mit der erheblich höheren Kostenbelastung treten müßte.

Eine in der Gegenwart optimale Entscheidung kann so eine zukünftige Entscheidungssituation negativ beeinflussen und unter dem Aspekt einer langfristigen Kostenminimierung völlig falsch sein.

Bei extensiver Auslegung des Kostenverursachungsprinzips sind jedoch die Kosten der zukünftigen Wiederherstellung (=Reproduktionskosten RK) der gegenwärtigen Zuteilungsalternative als zusätzliche Kosten anzulasten.

In welchem Umfang diese Reproduktionskosten in die Bewertung eingehen, läßt sich aus folgender investitionstheoretischer Überlegung ableiten:

Betrachtet man die Materialverwendung als Investitionsentscheidung, bei der die Bewertung zukunftsbezogen erfolgt, dann führt die Zuordnung zum Dispositionszeitpunkt TD zu Umsazterlösen, denen zum Zeitpunkt TWV ein Aufwand in Höhe der Reproduktionskosten gegenübersteht. Geht man weiter davon aus, daß ein Teil der Umsatzerlöse der zukünftigen Produktion des jetzt eingesetzten Materials dient, dann führt die vorgezogene Zuteilung zunächst zu einer Kapitalfreisetzung. Die entsprechenden finanziellen Mittel können nun bis zum Zeitpunkt TWV gewinnbringend (im Unternehmen oder auf der Bank) eingesetzt werden. Die erzielbaren Zinserträge sind der Zuteilungsentscheidung zuzurechnen. Dadurch erfolgt indirekt eine Reduzierung der zukünftigen Reproduktionskosten.

Die genannten Zinserträge sind jedoch bei Nichtverwendung des Materials unter Opportunitätskostengesichtspunkten entgangene Gewinne, die ihren Ausdruck in den Lagerkosten finden. Vereinfacht ausgedrückt - und diese Auffassung soll auch für diese Arbeit gelten - kann man auch sagen, daß in

die entscheidungsrelevanten Materialkosten die Reproduktionskosten und als Negativkomponente die eventuell vermiedenen Lagerkosten eingehen (vgl. dazu Abschnitt 4.3.2.2.3.).

Durch die Berücksichtigung der Reproduktionskosten wird langfristig eine einheitliche Bewertungsbasis geschaffen. Unterschiedliche Bearbeitungszustände der im Entscheidungsfeld befindlichen Vormaterialien werden für die Bewertung dadurch auf einen Nenner gebracht, daß in die Reproduktionskosten mehr oder weniger Arbeitsgänge einfließen.

Welche Kostenkomponenten nun je Zuteilungsalternative in die entscheidungsrelevanten Gesamtkosten eingehen, ist aus den Fällen (Ā) und (B̄) der folgenden Abbildung ersichtlich.

Für den Fall, daß ein Rohblock zugeteilt wird, bestehen die originären, direkt verursachten Zuteilungskosten aus den Umblock-, Fertigwalz- und Verschnittkosten. Die Reproduktionskosten des Einsatzmaterials umfassen dann nur die Erschmelzungskosten der Rohblöcke. Im Falle (B̄) setzen sich die originären Zuteilungskosten nur aus den Fertigwalz- und Verschnittkosten zusammen, während die Reproduktionskosten des Einsatzmaterials aus den Erschmelzungs- und Umblockkosten (betreffend die Knüppelmenge) bestehen[1].

Die in den bisherigen Ausführungen dieses Abschnittes diskutierten und in Abbildung 4.3.2.2.1.1./1 skizzierten Sachverhalte seien anhand eines einfachen numerischen Beispiels näher erläutert:

---

[1] Für die Bewertung ist in diesem Fall ausgehend von der Halbzeugeinsatzmenge unter Anwendung der in Abschnitt 4.2.2.2.2. beschriebenen Verlust- bzw. Zuschlagsparameter die erforderliche Erschmelzungsmenge hochzurechnen. (Siehe dazu auch die Ausführungen des Abschnittes 5.2.3.2

Abb. 4.3.2.2.1.1./1 Relevanz der Reproduktionskosten bei der Bewertung von Zuteilungsalternativen

Kostenkomponenten der Zuteilungsentscheidung (vereinfacht)	Entscheidungsrelevante Kostenkomponenten bei Berücksichtigung von ausschließl. Be- und Verarbeitungskosten und einem Einsatz von		von Reproduktionskosten RK und einem Einsatz von	
	Ⓐ Rohblock	Ⓑ Knüppel	Ⓐ Rohblock	Ⓑ Knüppel
Erschmelzen			(1) Erschmelzungskosten } RK +	(1) Erschmelzungskosten } RK +
Umblocken	(2) Umblockkosten +		(2) Umblockkosten +	(2) Umblockkosten +
Fertigwalzen	(3) Fertigwalzkosten + (4) Verschnittkosten	(3) Fertigwalzkosten + (4) Verschnittkosten	(3) Fertigwalzkosten + (4) Verschnittkosten	(3) Fertigwalzkosten + (4) Verschnittkosten
Lagerung	- (5) Lagerkosten	- (5) Lagerkosten	- (5) Lagerkosten	- (5) Lagerkosten
Entscheidungsrelevante Gesamtkosten	(2)+(3)+(4)-(5)	(3)+(4) - (5)	RK + (2) + (3) + (4) - (5)	RK + (3) + (4) - (5)

Nehmen wir an, für die Zuteilung stünden zwei Alternativen zur Auswahl. Alternative A betreffe Rohblöcke, Alternative B im Querschnitt, aber nicht in der Länge passende Knüppel.

Bei Realisierung von A entstünden Umblockkosten von 90 Geldeinheiten, Fertigwalzkosten[1] von 150, Verschnittkosten[2] von 20 und verhinderte Lagerkosten von 20 GE.

Bei Realisierung von B entstünden keine Umblockkosten, jedoch aufgrund der nicht genau passenden Knüppelabmessung, die einen erhöhten Materialeinsatz erfordert, Fertigwalzkosten von 180 und Verschnittkosten von 35. Die verhinderten Lagerkosten mögen 30 betragen[3].

Man erhält dann als entscheidungsrelevante Gesamtkosten für A: 90 + 150 + 20 - 20 = 240 GE, für B: 180 + 35 - 30 = 185 GE und müßte daher Alternative B realisieren, obwohl diese zu erhöhten Walz- und Verschnittkosten führt.

Wollte man für diese beiden Alternativen auch die Reproduktionskosten des Einsatzmaterials berücksichtigen, dann wären für A noch Erschmelzungskosten von 1.000 und für B aufgrund des erhöhten Materialeinsatzes Erschmelzungskosten von 1.050 und Umblockkosten von 100 relevant. Die Verschnittkosten würden bei dieser Betrachtungsweise (wie bei der Bewertung von Aufteilungsalternativen in Abschnitt 4.3.1.2.1. erörtert) durch den Schrotterlös, der für A 10 GE und für B 15 betrage, ersetzt.

Man erhielte dann für $\overline{A}$ (= Alternative A + Reproduktionskosten) Zuteilungskosten von

---

[1] Einschließlich Leerzeitkosten.

[2] Verschnittkosten = anteilige Materialkosten + anteilige Bearbeitungskosten + anteilige Walzkosten - Schrotterlös.

[3] Die unterschiedlichen Verweilzeiten und damit Lagerkosten bei A und B beruhen auf der Annahme, daß die Verwendungsmöglichkeiten von Halbzeug - bedingt durch dessen spezifische Dimension - geringer sind als jene von Rohblöcken, die ja bei Bedarf noch auf verschiedene Knüppeldimensionen umgeblockt werden können.

$$1.000 + 90 + 150 - 10 - 20 = 1.210 \text{ GE}$$

und für Alternative $\overline{B}$ (= Alternative B + Reproduktionskosten)

$$1.050 + 100 + 180 - 15 - 30 = 1.285 \text{ GE}.$$

Die Dispositionsentscheidung würde also in diesem Fall eindeutig zugunsten der Alternative $\overline{A}$ ausfallen. Das heißt, es wäre günstiger, die betrachtete Knüppelposition bis zum prognostizierten Wiederverwendungszeitpunkt weiter zu lagern.

4.3.2.2.1.2. Wahl eines geeigneten Bewertungsansatzes

Nach der grundlegenden Feststellung, daß die Material- bzw. Reproduktionskosten entscheidungsrelevant sind, stellt sich die Frage, welcher Bewertungsansatz im Rahmen der Vormaterialdisposition heranzuziehen ist.

Liegt das betrachtete Vormaterial in Form von Rohblöcken auf Lager, dann wird man als Bewertungsansatz die variablen Erschmelzungskosten wählen. Darunter fallen in erster Linie die Kosten für

- Rohstoffeinsatz,
- Hilfs- und Betriebsstoffe,
- Energieverbrauch,
- nutzungsbedingte Abschreibungen,
- variable Lohnanteile.

Die tatsächliche Ermittlung der variablen Kosten für eine Ausbringungseinheit (z. B. eine Tonne) eines Rohblocks ist überaus kompliziert und soll in dieser Arbeit nicht näher untersucht werden[1]. Zu klären ist jedoch die Frage, ob in Abhängigkeit vom effektiven Herstellungsverfahren oder der Ofengröße, in der eine Charge erschmolzen wurde, unterschiedliche Kostensätze verrechnet werden sollten.

---

[1] Ein entsprechendes Rechenmodell zur Kostenermittlung im Stahlwerk ist z. B. bei Franke, R., Betriebsmodelle, Düsseldorf 1972, detailliert beschrieben.

Zur Lösung dieses Problems seien folgende Überlegungen angestellt:

(1) Die Erschmelzung der Rohblöcke erfolgt entweder in Siemens-Martin- oder Elektro-Öfen, wobei der erzielte Reinheitsgrad des Materials bei den Elektro-Öfen grösser ist als bei den erstgenannten. Aber auch die variablen Erschmelzungskosten sind unter einer bestimmten Ofengröße bei den Elektro-Öfen etwas höher. Dennoch geht die Tendenz bei der Stahlherstellung - vor allem im Edelstahlbereich - eindeutig hin zum Einsatz von Elektro-Öfen.

(2) Es wurde bereits erwähnt, daß die Kapazität der einzelnen Schmelzöfen unterschiedlich ist und sich zwischen 20 und 100 Tonnen bewegt. Mit zunehmender Ofenkapazität nehmen aber die Herstellkosten je Tonne Rohblock ab. Ist man nun in Zeiten voller Kapazitätsauslastung gezwungen, in <u>einer</u> Qualität Chargen in einem 20- und in einem 100-Tonnen-Ofen zu erschmelzen, dann wären bei einem stark differenzierten Bewertungsverfahren beide Chargen unterschiedlich zu bewerten. Geht man davon aus, daß bei beiden Chargen kleinere Restbestände anfallen, dann würde eine derartige Vorgehensweise dazu führen, daß man bei deren Disposition - auch unter Reproduktionsgesichtspunkten - Material aus dem größeren Ofen, weil geringer bewertet, bevorzugt verwendet. Gerade diese differenzierte Vorgehensweise widerspräche aber dem Reproduktionskosten-Gedanken. Es ist nämlich zum Zeitpunkt der Dispositionsentscheidung in der Regel nicht abzusehen, welcher der beiden angesprochenen Öfen in Zukunft zum Einsatz käme.

Wegen der abnehmenden Bedeutung des Siemens-Martin-Herstellverfahrens und unter dem Gesichtspunkt einer "ungewissen Reproduktionsart" vorhandener Rohblöcke scheint es daher

zweckmäßig, für Rohblöcke einer Qualität je Mengeneinheit nur einen Erschmelzungskostensatz EKS zu verwenden.

Etwas komplizierter gestaltet sich die Ermittlung der Reproduktionskosten für Lagerbestände, die bereits einmal umgeblockt wurden und möglicherweise auch andere Bearbeitungsschritte erfahren haben. Hier müssen in einer kombinierten Mengen- und Bewertungsrechnung[1] einerseits die Materialverluste der vorgelagerten Be- und Verarbeitungsstufen festgestellt und der Vormaterialeinsatzmenge so lange zugerechnet werden, bis die Erschmelzungsmenge feststeht; andererseits sind die verschiedenen Be- und Verarbeitungskosten einschließlich der Erschmelzungskosten für die Rohblockeinsatzmenge zum Reproduktionskostenwert zu akkumulieren. Zu diesem Zweck werden ebenfalls die in den Abschnitten 4.2.2.2.2. und 4.3.1.2.3. beschriebenen Materialverlustfaktoren und Bewertungsansätze herangezogen.

Wesentlich für die Ermittlung der Reproduktionskosten ist die Tatsache, daß nur jene Arbeitsgänge und Umblockaktivitäten berücksichtigt werden, die bei einer neuerlichen Herstellung auf jeden Fall entstehen würden. Wurde die betrachtete Vormaterialmenge bis zu ihrem gegenwärtigen Zustand z. B. aufgrund von Fehldispositionen mehrere Male umgeblockt, obwohl die Transformation der Rohblockeinsatzmenge in die Vormaterialmenge durch einen Walzvorgang hätte realisiert werden können, dann ist nur dieser eine Walzvorgang für die Errechnung der Reproduktionskosten maßgebend.

---

[1] Vgl. dazu Abschnitt 5.2.3.2.

4.3.2.2.2. Transportkosten

Bei der Ermittlung aller Kosten, die durch eine Zuteilungsentscheidung verursacht werden, sind auch die Kosten des physischen Transportes des Einsatzmaterials vom Lager zu den Walzstraßen zu berücksichtigen.

Die Erfassung der Transportkosten ist bei genauer Betrachtung äußerst diffizil. Zum einen sind die unter dem allgemeinen Begriff "Lagerbestand" geführten Materialien auf räumlich fünf verschiedene und von den Walzstraßen unterschiedlich weit entfernte Einzelläger verteilt. Diese Tatsache führt zwangsläufig zur (problemlosen) Festlegung unterschiedlicher Transportkostensätze.

Zum anderen kommt noch hinzu, daß innerhalb eines Lagers die physische Lagerung dreidimensional erfolgt. Dabei spielt als Kosteneinflußkriterium besonders die Höhe eine entscheidende Rolle. So kann es durchaus sein, daß in einer Lagerposition von 2 m Breite, 2 m Länge und 5 m Höhe drei verschiedene Vormaterialpositionen übereinander gestapelt sind. Betrifft nun eine Zuteilungsentscheidung die unterste Position, dann heißt das, daß die oberen zwei Vormaterialpositionen manuell mit Hilfe von Kränen verlagert werden müssen, bevor die gesuchten Vormaterialien abtransportiert werden können. Daß die bei dieser Umlagerung anfallenden Kosten auch der Zuteilungsalternative anzulasten sind, scheint einleuchtend. Die Problematik besteht jedoch darin, daß zum Dispositionszeitpunkt die genaue Lage des gesuchten Materials dem Sachbearbeiter nicht bekannt ist. Das implementierte Administrationssystem erlaubt wohl eine kurzfristige Verbuchung des geänderten Lagerortes in den Bestandssätzen der betroffenen VM-Positionen, damit diese später wieder lokalisiert werden können, es beinhaltet aber keine Abbildung des aktuellen "Lager-Materialgebirges", aus dem die genaue Lage des Dispositions-Materials abzulesen und der zu erwartende Umlagerungsaufwand abzuschätzen ist.

Solange ein derartiges Materialgebirge je Lager als Datenlieferant für die Disposition nicht zur Verfügung steht, wird man sich zwangsläufig mit fünf unterschiedlichen, lagerabhängigen Transportkostensätzen TKS je ME abfinden müssen und die Transportkosten nur überschlägig bei der Bewertung berücksichtigen können[1].

4.3.2.2.3. Lagerkosten

Die frühzeitige Verwendung von Lagermaterial führt entweder zu Zinserträgen (vgl. Abschnitt 4.3.2.2.1.1.) oder bei dualer Betrachtung zur Vermeidung von Lagerkosten.

Die Haupteinflußgrößen dieser Lagerkosten sind

- die wahrscheinliche Lagerdauer bzw. der voraussichtliche Wiederverwendungszeitpunkt TWV,
- die Reproduktionskosten RK des Vormaterials und
- der Lagerkostensatz LKS.

Die Ermittlung des Zeitpunktes TWV ist u. a. abhängig vom vorhandenen Auftragsbestand und der Vormaterialmenge je Dimensionsklasse und Qualität und wird vom Prognose-Baustein durchgeführt[2].

Als Bezugsbasis für die Bewertung dienen die Reproduktionskosten, deren Bestimmung in Abschnitt 5.2.3.2. beschrieben ist.

Der Lagerkostensatz ist als bereichsspezifischer Bewertungsfaktor zu definieren, mit dem sowohl die Kosten des gebundenen Kapitals als auch in gewissem Umfang die Kosten der eigentlichen Lagerung abgedeckt werden.

---

[1] Für die Zukunft kann es - nicht nur für Bewertungszwecke sondern auch für die Lagersteuerung - zweckmäßig sein, eine sogenannte "Lagerortdatei" in das bestehende System zu integrieren. Diese sollte für jeden einzelnen Lagerplatz eines Lagers einen Datensatz enthalten, in dem die Bestandsentwicklung "platzabhängig" forgeschrieben wird. Dadurch wäre es während der Disposition möglich, einen entstehenden Umlagerungsaufwand abzuschätzen und als zusätzlichen Kostenfaktor in der Bewertung zu berücksichtigen.

[2] Vgl. dazu Schröder, M., Einsatz der ..., a.a.O., S. 51 ff.

4.3.2.2.4. Rücklieferkosten

Stellt sich bei der Bestimmung einer Zuteilungsalternative heraus, daß zur Auftragsdeckung ein Vormaterial (aus mehreren) nur zum Teil benötigt wird, dann ist während der Disposition die Entscheidung zu treffen, was mit dem anfallenden Rest zu geschehen hat. In diesem Zusammenhang ist davon auszugehen, daß dieser Rest nach der Zwischenwalzung zwangsläufig auch auf die festgelegte Knüppellänge geteilt wird.

In Abhängigkeit von der Nachfrage und Auftragsstruktur in einer Marke ist z. Zt. je Dimensionsklasse eine Rückliefergrenze RG vorgegeben. Knüppel, die diesen Grenzwert unterschreiten, werden nach dem Umblocken sofort verschrottet. Größeres Halbzeug wird ans Lager rückgeliefert und bildet in der Folge eine neue Bestandsposition, die nach Möglichkeit in Zukunft wieder einem passenden Auftrag zugeordnet werden soll.

Zu verschrottende Knüppel bilden bewertungstechnisch kein Problem. Da die Zwischenwalzung an diesem Material durchgeführt wird, geht es als Umblockverschnitt in die Bewertung ein.

Problematischer ist die gerechte Bewertung der eigentlichen Rücklieferungen. So ist z.B. zu bedenken, daß u.a. die gesamten Reproduktionskosten des zuzuteilenden Vormaterials sowie die dafür anfallenden Umblockkosten als verursachte Kosten in die Bewertung eingehen. Dem stehen jedoch im speziellen Fall zwei Arten von Leistungen gegenüber: Die herzustellende Fertigproduktmenge und das Rückliefermaterial.

Werden die eben genannten Kosten allein auf das Fertigmaterial bezogen, dann hätte dieses auch die Material- und Umblockkosten des Rückliefermaterials zu tragen. Diese Vorgehensweise würde zu einer ungerechtfertigten Verschlechterung des Bewertungsergebnisses führen und hätte bei langfristiger Kostenbetrachtung zur Folge, daß das Rückliefermaterial bei einem zukünftigen Dispositionsprozeß dann ohne Materialkosten in die Bewertung eingehen müßte. Dadurch würde in der Zukunft ebenfalls der Entscheidungsprozeß verfälscht.

Bleibt also die Überlegung, das Rückliefermaterial mit den aliquoten Reproduktions- und Umblockkosten des Einsatzmaterials zu belasten. Dies führt zu einer entsprechenden Kostenverringerung bei der betrachteten Zuteilungsalternative. Dem ist jedoch entgegenzuhalten, daß in einem zukünftigen Entscheidungsprozeß für die Bewertung des Materials nicht die gegenwärtigen Reproduktions- und Umblockkosten, sondern die Reproduktionskosten dieses Materials zugrunde gelegt werden. Dabei kann durchaus der Fall eintreten, daß diese - wegen der Annahme einer direkten Fertigung Rohblock - Knüppel - geringer sind als die Summe der gegenwärtig angesetzten Reproduktions- und Umblockkosten. Es entstünde also hier eine "Kostenlücke".

Eine Lösung dieses Problems ist in der Art denkbar, daß man die gesamten Reproduktions- und Umblockkosten der Vormaterialeinsatzmenge um die Reproduktionskosten des Rückliefermaterials reduziert. Dadurch wird die Zuteilungsalternative mit den Kosten belastet, die ihr bei einer Realisierung als "verursacht" anzulasten sind.

Durch Rücklieferungen werden aber nicht nur die Vormaterialeinsatzkosten reduziert. Es entstehen auch zusätzliche Kosten, die allein durch die Rücklieferung bewirkt werden. So muß das Restmaterial z.B. vom Walzwerk ans Lager zurücktransportiert werden, wodurch neue Transportkosten entstehen. Das rückgelieferte Material wird bis zu seiner Wiederverwendung eine bestimmte Zeit auf Lager liegen. Dadurch entstehen wieder neue Lagerkosten. Beide Komponenten, Transport- und Lagerkosten, sind der betrachteten Zuteilungsalternative zuzurechnen.

5. Halbzeugberechnung und Vormaterialbewertung - Problemlösung

5.1. Abgrenzung und Globalbeschreibung

In den folgenden Abschnitten werden Verfahren und Algorithmen entwickelt, die in einem Dialogsystem (siehe Abschnitt 6.) zum Einsatz kommen und die Zuteilungsentscheidungen - vor allem unter quantitativen Gesichtspunkten - verbessern sollen.

Die Grundidee besteht dabei darin,

- dem Menschen dort, wo es möglich ist, Rechenarbeiten abzunehmen,
- ihn bei der Mengenbeurteilung von Vormaterialpositionen zu unterstützen,
- in kürzester Zeit verschiedene Alternativen durchzurechnen
- und die Ergebnisse durch eine objektive Bewertung vergleichbar zu machen.

Neben den Problemen der Mengenrechnung und Bewertung, die in den vorhergehenden Abschnitten bereits diskutiert und für die z. T. schon verschiedene Lösungswege aufgezeigt wurden, stehen im folgenden u. a. Verschnitt- und Aufteilungsprobleme im Mittelpunkt.

5.1.1. Abgrenzung zu bestehenden Lösungsansätzen

Zur Lösung derartiger Probleme wurden bisher in der Praxis der Stahlindustrie eine Reihe von Ansätzen entwickelt und eingesetzt. Teils handelt es sich dabei um klassische Verfahren des Operations Research[1], teils um selbstent-

---

[1] Vgl. z. B. zum zweidimensionalen Verschnittproblem Maak, H., Gedanken zum zweidimensionalen Verschnittproblem, IBM-Form 78 109.

wickelte heuristische Verfahren. So ist z. B. bei der Hoesch Hüttenwerke AG in deren Blechwalzwerk ein dem manuellen Verfahren nachgebildeter Kombinationsalgorithmus zur Zuordnung von auftragsabhängigen Blechtafeln bzw. Einzelblechen zu Standard-Walztafeln im Einsatz[1]. Bei der Thyssen Niederrhein AG[2] und im Werk Union der Hoesch AG[3] beispielsweise werden Algorithmen zur Kombination unterschiedlicher Stablängen in einer Walzader verwendet (bei Hoesch sogar im On-line-Betrieb).

Allen diesen Verfahren ist jedoch gemeinsam, daß sie immer nur eine Stufe des Fertigungsprozesses, nämlich die Materialaufteilung nach der Fertigwalzung als Lösungsziel betrachten und hier den Verschnitt minimieren wollen. Es wurde aber in der Literatur kein Verfahren gefunden, das die simultane Aufteilung von Vorblöcken und Walzadern unter Berücksichtigung der verschiedenen relevanten Kostenkomponenten zum Ziele hat.

5.1.2. Globalbeschreibung des Lösungsvorschlages

5.1.2.1. Dateien des Systems

Für die Realisierung des dialogorientierten Dispositionssystems ist es notwendig, daß eine Reihe von Daten, Faktoren und Parametern für die durchzuführenden Berechnungen ständig zugriffsbereit ist.

Zum einen handelt es sich dabei um Daten bzw. Dateien, deren Aufgabe u. a. in der qualitativen und quantitativen

---

1) Vgl. dazu Hessling, R. und Richter, H., Auftragsabwicklung für ein Blechwalzwerk, IBM Nachrichten 25 (1975) 224, S. 49 ff.

2) Vgl. dazu Gerhard, C., Gedanken zur Lösung des Knapsack-Problems, Ablauf und Planungsforschung 11 (1970), S. 69 ff. und Gerhard, C. und Tilanus, C. B., Das Knapsackproblem, Anmerkungen und Erweiterungen, in: Jacob, H., Pressmar, D., Todt, H. und Zimmermann, H. J. (Hrsg.), Proceedings in Operations Research 2, Würzburg-Wien 1973, S. 105 ff.

3) Vgl. dazu Kösters, F. u. a., a.a.O., S. 417 ff.

Charakterisierung der lagernden Vormaterialien besteht. Dazu zählen

- die bereits im erweiterten Administrationssystem vorhandene und um einige Bewertungsfelder ergänzte Markendatei (Tabelle 5.1.2.1./1),
- die Chargenkopfdatei (Abschnitt 3.2.3.2.),
- die Bestandsdatei (Tabelle 5.1.2.1./2) und
- den Markenthesaurus (Abschnitt 3.2.3.2.).

Die in Abschnitt 4. beschriebenen und analysierten restlichen lösungsrelevanten Daten und Parameter wurden aus verarbeitungstechnischen Gründen in

- eine auf die Fertigwalzung bezogene Walzparameterdatei (Tabelle 5.1.2.1./3),
- eine dimensionsklassenbezogene Umblockdatei (Tabelle 5.1.2.1./4) und
- eine dimensionsklassenbezogene Arbeitsgangdatei (Tabelle 5.1.2.1./5)

gruppiert.

Wiederverwendungszeitpunkte und Rückliefergrenzen sind in einer eigenen Datei festgehalten (Tabelle 5.1.2.1./6).

Durch die Speicherung dieser Daten auf Magnetplatten ist einerseits sichergestellt, daß während der durchzuführenden Berechnungen die gültigen Parameter innerhalb kürzester Zeit zur Verfügung stehen, und andererseits die Gefahr, daß bei manueller Verwaltung falsche Daten eingegeben werden, beinahe ausgeschlossen.

Die Auftragsdaten werden wegen ihres stark schwankenden Umfangs, vor allem aber auch aus psychologischen Gründen (der Sachbearbeiter hat sie während des Zuteilungsprozesses ständig im Blickfeld) für Dispositionszwecke nicht gespeichert. Sie liegen als Betriebsaufträge in Papierform vor.

Tabelle 5.1.2.1./1	Inhalt der Markendatei

Ordnungsbegriff

- Markenschlüssel MNR

Weitere Feldinhalte entsprechend Abschnitt 3.2.3.2.

Spezielle Bewertungsdaten

- Erschmelzungskostensatz EKS
- Schrotterlös SE
- Spezifisches Gewicht SPEZG
- Qualitätsgruppe QG

Tabelle 5.1.2.1./2	Inhalt der Bestandsdatei

Ordnungsbegriff

- Chargennummer
- Satznummer

Allgemeine Daten

- Profil PRKZ
- Breite AMAV
- Höhe AMBV
- Länge
- Gewicht der Vormaterialposition GPOS
- Stückzahl STK
- Bearbeitungszustand BEABZ
- Lagerort LO

Tabelle 5.1.2.1./3	Inhalt der Walzparameterdatei

Ordnungsbegriff

- Walzgruppe WAGRU

Allgemeine Walzrestriktionsdaten

- Profil PROKZ
- Anstichquerschnitt ABMA, ABMB
- Minimale Knüppellänge LHU
- Maximale Knüppellänge LHO
- Maximale Kühlbettlänge KBL
- Endenschrott ES
- Leerzeitkostensatz LZKS

Daten je Qualitätsgruppe

- Revisionsfaktor REVF
- Walzverlustfaktor WVF
- Walzkostensatz WKSF
- Schneidekostensatz SKS
- Leerzeit LZ

Tabelle 5.1.2.1./4	Inhalt der Umblockdatei

Ordnungsbegriff

- Dimensionsklasse DK

Daten je Qualitätsgruppe

- Aufteilkostensatz AKS

Daten je Qualitätsgruppe und besetzter Ausbringens-dimensionsklasse

- Walzverlustfaktor WVU
- Walzkostensatz WKSU

Tabelle 5.1.2.1./5	Inhalt der Arbeitsgangdatei

Ordnungsbegriff

- Arbeitsgang
- Dimensionsklasse

Daten je Qualitätsgruppe

- Arbeitsgangfaktor AGF
- Arbeitsgangkostensatz AGKS

Tabelle 5.1.2.1./6	Inhalt der Verweilzeit und Rücklieferdatei

Ordnungsbegriff

- Markenschlüssel MNR

Daten je Dimensionsklasse

- Wahrscheinlicher Wiederverwendungszeitpunkt TWV
- Rückliefergrenze RG

5.1.2.2. Überblick über die Lösungsmoduln

Betrachtet man den Ablauf des Zuteilungsprozesses - ohne an dieser Stelle auf den EDV-technischen Dialogablauf näher eingehen zu wollen - vorwiegend unter dem Aspekt der erforderlichen Rechen- und Optimierungsarbeiten, dann kann dieser kurz wie folgt beschrieben werden:

(1) Ausgehend von den Auftragsdaten werden durch Zugriff auf die Marken- und Walzparameterdatei verschiedene auftrags- und fertigungsbedingte Parameter und Ausgangsdaten (überwiegend Vergleichswerte) festgelegt bzw. errechnet.

(2) Mit Hilfe dieser Daten wird in der nächsten Stufe ein Richtwert für die zur Auftragsdeckung erforderliche Vormaterialmenge ermittelt. Dadurch ist es während der Vormaterialrecherche dem Disponenten möglich, eine Entscheidung zu treffen, ob für eine bestimmte Vormaterialposition sofort eine Zuteilungsrechnung gestartet werden soll oder ob es empfehlenswert ist, eine bestimmte Vormaterialposition zunächst für eine eventuell später durchzuführende Vormaterialkombination vorzumerken.

(3) Soll für eine Vormaterialposition die Halbzeugberechnung (Aufteilungsrechnung) durchgeführt werden, dann sind dabei in Abhängigkeit von der Fertigstablänge (fix oder variabel) wieder unterschiedliche Verfahren anzuwenden.

(4) Auf den in (3) errechneten Ergebnissen aufbauend sind eine bestellmengenabhängige Zuteilungsalternative, eventuell unter Berücksichtigung eines Restanfalls, und eine Bewertungszahl zu bestimmen, die den Vergleich unterschiedlicher Zuteilungsalternativen erlaubt.

(5) Für den Fall, daß der Zuteiler zur Auftragsdeckung mehrere unterschiedliche Vormaterialpositionen heranziehen möchte, wird in einem eigenen Kombinationsalgorithmus die optimale Vormaterialkombination bestimmt und bewertet. Dazu dient auch ein Teil der in (3) und (4) eingesetzten Lösungsalgorithmen.

Abbildung 5.1.2.2./1 zeigt den eben skizzierten Ablauf in einer graphischen Übersicht. Aus diesem Bild ist auch ersichtlich, welche externen Daten in welchen Moduln benötigt werden.

5.2. Lösung der einzelnen Problembereiche

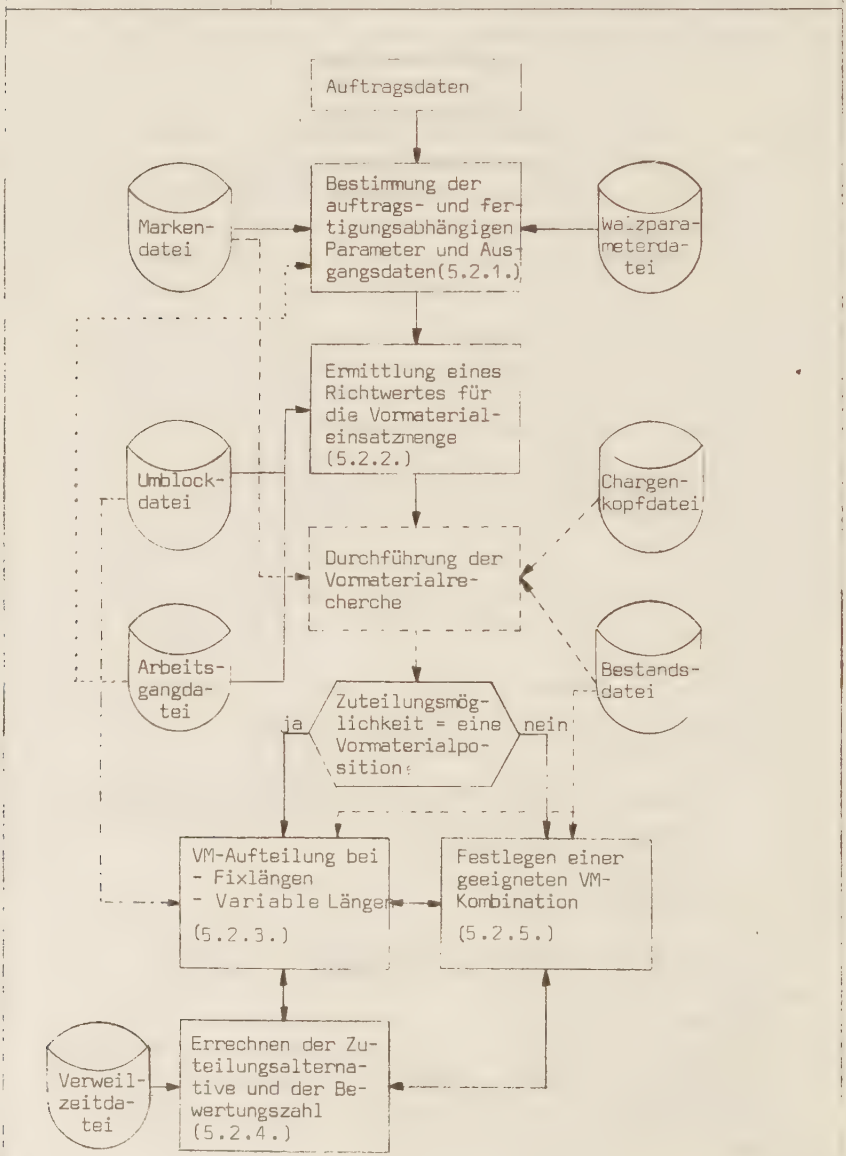
5.2.1. Bestimmung der auftrags- und fertigungsabhängigen Parameter und Ausgangsdaten

5.2.1.1. Datenbereitstellung[1)]

Die Auftragsdaten werden in das System eingegeben (Tabelle 5.2.1.1./1).

[1)] Es wird in den folgenden Abschnitten sehr häufig mit symbolischen Abkürzungen gearbeitet. Diese werden einmal erklärt und dann als bekannt vorausgesetzt. Die Gesamtheit aller verwendeten Abkürzungen ist für Nachschlagezwecke alphabetisch geordnet in Anhang 1 dargestellt.

Abb. 5.1.2.2./1 Lösungsmoduln des Bausteins Halbzeugberechnung und Vormaterialbewertung



VM = Vormaterial

Tabelle 5.2.1.1./1	Einzugebende Auftragsdaten

Markenschlüssel MNR
Profil
Breite bzw. Durchmesser ABAF (mm)
Höhe ABBF (mm)
Untere Lieferlänge LFU (mm)
Obere Lieferlänge LFO (mm)
Bestellgewicht BG (kg)
(Evtl. spezieller Überlieferungsfaktor TOLF)
Walzgruppe WAGRU
Schlüssel für Zusatzarbeitsgänge an Knüppeln und/ oder Vormaterial (AG_K, AG_V)

Mit Hilfe von MNR werden aus dem entsprechenden Markensatz der Markendatei die für die Halbzeugberechnung und Bewertung relevanten Daten wie spezifisches Gewicht SPEZG (kg/dm^3), Erschmelzungskostensatz EKS (DM/kg), Schrotterlös SE (DM/kg) und die Qualitätsgruppennummer QG eingelesen.

Über die Datenfelder WAGRU und QG können aus der Walzparameterdatei (siehe Tabelle 5.1.2.1./3) die allgemeinen Walzrestriktionsdaten wie Knüppelprofil PROKZ, -breite ABMA (mm), -höhe ABMB (mm), minimale und maximale Knüppellänge LHU (mm) und LHO (mm) und der Endenschrott ES (cm) sowie die qualitätsgruppenabhängigen Verlustfaktoren REVF und WVF und die Bewertungsdaten WKSF (DM/ME), LZKS (DM/min), LZ (min) und SKS (DM) in den Rechner übertragen werden.

Sollte an den Knüppeln ein Zusatzarbeitsgang erforderlich sein, dann wird über das Profil und den Anstichquerschnitt das einzusetzende Halbzeug mit Hilfe der gespeicherten Dimensionsklassentabelle (Tabelle 4.2.2.2.2.1./1) einer Dimensionsklasse DK zugeordnet. Der eingegebene Ar-

beitsgangschlüssel erlaubt in Verbindung mit der Dimensionsklasse in der Folge den Zugriff auf den entsprechenden Satz der Arbeitsgangdatei, aus dem der qualitätsgruppenabhängige Arbeitsgangfaktor AGF_K samt Arbeitsgangkostensatz $AGKS_K$ (DM/kg) für die Berechnungen bereitgestellt werden.

5.2.1.2. Ermittlung auftragsabhängiger Ausgangswerte

Ziel des Zuteilungsprozesses ist u. a. die Erfüllung des kundenspezifischen Bestellgewichtes unter Berücksichtigung der vorgegebenen Stablängentoleranzen.

Die Walzmenge WMMIN, die zur Erfüllung des Bestellgewichtes unter Berücksichtigung des zu erwartenden Revisionsentfalls produziert werden muß, errechnet sich nach dem Ausdruck:

$$WMMIN = BG \times 1/REVF.$$

Der mengenmäßige Höchstwert der Walzmenge WMMAX beträgt in Abhängigkeit vom zulässigen Überlieferungsfaktor TOLF[1], der in der Regel als Systemparameter vorgegeben ist, bei Bedarf jedoch manuell geändert werden kann, näherungsweise:

$$WMMAX = WMMIN \times TOLF.$$

Zwischen diesen beiden Extremwerten soll die rechnerische Fertigwalzmenge liegen.

Aus den Stabprofil- und -abmessungsdaten werden nach Tabelle 5.2.1.2./1 der Fertigproduktquerschnitt QF, das Millimetergewicht des Fertigmaterials GFM und das bei variablen Stablängen zulässige minimale und maximale Fertigstabgewicht SGMIN und SGMAX wie folgt errechnet:

---

[1] In der Praxis beträgt dieser Faktor bei einem Bestellgewicht von 2.000 kg 1,1, bei einem Bestellgewicht zwischen 2.000 und 10.000 kg 1,05 und über 10.000 kg 1,02.

Tabelle 5.2.1.2./1	Ermittlung des Fertigproduktquerschnitts QF für die Fertigprofile der Walzstraßen

Profil	Formel für Querschnittserrechnung
4-KANT	ABAF × ABAF
6-KANT[1)]	0,867 × ABAF × ABAF[2)]
8-KANT[1)]	0,829 × ABAF × ABAF[3)]
FLACH	ABAF × ABBF
RUND	0,785 × ABAF × ABAF[4)]
FLACH-ABGERUNDET	0,949 × ABAF × ABBF[5)]

1) Bei der Berechnung der Querschnittsflächen der Fertigprodukte bei 6-kant und 8-kant Stabstahl ist darauf zu achten, daß die in den Auftragsdaten angegebene Profilstärke von einer Seitenfläche zur gegenüberliegenden Seitenfläche, und nicht von Seitenkante zu Seitenkante gemessen wird.

2) Der konstante Faktor 0,867 in der Sechseck-Formel läßt sich nach den bekannten planimetrischen Formeln für gleichseitige Dreiecke wie folgt herleiten:

$$\frac{ABAF}{2} = \frac{s}{2} \times \sqrt{3}, \quad s = ABAF \times \frac{1}{\sqrt{3}},$$

$$F_6 = 6\frac{s}{2} \times \frac{s}{2} \times \sqrt{3} = \frac{6}{4} \times \frac{ABAF \times ABAF}{3} \times \sqrt{3} = \underline{0{,}867 \times ABAF^2}$$

3) Der Faktor 0,829 bei der Berechnung der Achteckfläche wurde folgendermaßen ermittelt:

$$s = \frac{ABAF}{2} \times tg\alpha \ (\alpha = 22{,}5), \quad F_8 = \frac{ABAF}{2} \times s \times 8 =$$

$$\frac{ABAF}{2} \times \frac{ABAF}{2} \times 0{,}41421 \times 8 = 0{,}829 \times ABAF^2$$

4) Der Faktor 0,785 bei der Flächenquerschnittsberechnung von Rundstahl stammt aus dem Ausdruck $\frac{\pi}{4}$.

5) Der Faktor 0,949 bei flach-abgerundetem Stabstahl wurde von Walztechnikern für alle Abmessungen dieser Profilgruppe festgelegt.

$$GFM = QF \times SPEZG \times 10^{-6}$$
$$SGMAX = GFM \times LFO$$
$$SGMIN = GFM \times LFU.$$

Damit stehen die auftragsabhängigen Ausgangsdaten für die Vormaterialaufteilung und Bewertung fest.

5.2.1.3. Ermittlung fertigungsabhängiger Ausgangswerte

Als nächstes sind die für die Vormaterialaufteilung gültigen Knüppelrestriktionen festzulegen. Zu diesem Zweck werden der Knüppelquerschnitt QH und das entsprechende Millimetergewicht GHM, bei flachprofiligen Knüppeln durch Abarbeiten der in Abschnitt 4.2.2.1. skizzierten Entscheidungstabelle, ermittelt.

$$QH = ABMA \times ABMA \text{ bzw. } ABMA \times ABMB$$
$$GHM = QH \times SPEZG \times 10^{-6}$$

Sodann errechnet man ein vorläufiges, von den zulässigen Knüppellängen determiniertes maximales und minimales Knüppelgewicht:

$$KGMAX(klabh.) = GHM \times LHO$$
$$KGMIN(klabh.) = GHM \times LHU$$

Diese Grenzwerte sind jedoch u. U. nur vorläufiger Natur:

Setzt man z. B. bei einem Auftrag die maximale Knüppellänge ein, dann kann der Fall auftreten, daß bei der Fertigwalzung der daraus erhältliche Fertigstrang die Kühlbettlänge überschreitet. Es ist daher auf dem Rechenwege eine Modifizierung der Obergrenze durchzuführen. Dies geschieht, indem ausgehend von der maximalen Kühlbettlänge unter Beachtung des relevanten Walzverlust- und Arbeitsgangfaktors (sofern vorhanden) das entsprechende kühlbettabhängige (kbabh.) Knüppelgewicht hochgerechnet wird:

$$KGMAX(kbabh.) = GFM \times KBL \times 1.000 \times 1/WVF \times 1/AGF$$

Durch die Berücksichtigung von WVF und AGF ist gewährleistet, daß nach der Durchführung eines eventuellen Zusatzarbeitsganges und der Fertigwalzung tatsächlich noch die gesamte Kühlbettlänge genutzt wird.

Das für die Fertigwalzung maximal zulässige Knüppelgewicht bestimmt sich dann aus:

$$KGMAX = \min \begin{cases} KGMAX(klabh.) \\ KGMAX(kbabh.) \end{cases}$$

Eine andere Überlegung gilt für KGMIN. Dort kann möglicherweise der Fall eintreten, daß bei Einsatz der minimalen Knüppellänge der bei der Fertigwalzung erzielbare Fertigstrang kleiner ist als die untere Stablänge. Die Folge davon wäre die Unbrauchbarkeit der Fertigwalzader. Hier empfiehlt sich dann unter Beachtung eines eventuell anfallenden Zwangsverschnitts ZVS (Endenschrott) die Ermittlung eines fertigstababhängigen (fstabh.) minimalen Knüppelgewichts aus

$$KGMIN(fstabh.) = (SGMIN + ZVS) \times 1/WVF \times 1/AGF$$

wobei

$$ZVS = ES \times 10 \times GFM.$$

Das für die Vormaterialaufteilung relevante minimale Knüppelgewicht ist dann

$$KGMIN = \max \begin{cases} KGMIN(klabh.) \\ KGMIN(fstabh.). \end{cases}$$

Die eben festgestellten Sachverhalte seien anhand eines einfachen numerischen Beispiels verdeutlicht.

Ein Auftrag habe die in Abbildung 5.2.1.3./1 skizzierte Struktur:

Abb. 5.2.1.3./1	Auftragsdaten eines praktischen Beispiels

Markennummer	1165
Profil	4-kant
ABAF	20 (mm)
ABBF	-
LFU	5000 (mm)
LFO	6000 (mm)
BG	2100 (kg)
WAGRU	842

Bemerkungen: Vorblöcke putzflämmen (AG 4), Knüppel allseitig schleifen (AG 14)

Über Marken-, Walzgruppen- und Arbeitsgangnummer werden die in Abbildung 5.2.1.3./2 beschriebenen Daten, die man zum Teil erst bei an späterer Stelle der Problemlösung eingesetzten Algorithmen benötigt, bereitgestellt.

Abb. 5.2.1.3./2	Marken-, walzgruppen- und arbeitsgangabhängige Halbzeugberechnungs- und Bewertungsdaten

Markenabhängige Daten:

SPEZG	=	7,5 (kg)
EKS	=	1 (DM)
SE	=	0,7 (DM)

Walzgruppenabhängige Daten:

Profil	4-kant
ABMA	80 (mm)
ABMB	-
LHU	1000 (mm)
LHO	2000 (mm)
KBL	36 (m)
ES	100 (cm)
REVF	0,85
WVF	0,98
WKSF	0,09 (DM)
LZ	0,15 (min)
LZKS	40 (DM)
SKS	0,3 (DM)
AKS	0,5 (DM)

Arbeitsgangabhängige Daten:

AGF (14)	0,96
AGKS (14)	0,05 (DM)

Für die Ermittlung der relevanten Ausgangswerte sind dann die aktuellen Mengendaten in die entsprechenden Formeln einzusetzen (Abbildung 5.2.1.3./3). Der Toleranzfaktor TOLF beträgt 1,05.

Abb. 5.2.1.3./3	Beispiel zur Ausgangsdaten-errechnung
WMMIN = 2100 x 1/0,85	= 2470 kg
WMMAX = 2470 x 1,05	= 2594 kg
QF = 20 x 20	= 400 mm^2
GFM = 400 x 7,5 x 10^{-6}	= 0,003 kg
SGMAX = 0,003 x 6000	= 18 kg
SGMIN = 0,003 x 5000	= 15 kg
QH = 80 x 80	= 6400 mm^2
GHM = 6400 x 7,5 x 10^{-6}	= 0,048 kg
KGMIN (klabh.) = 0,048 x 1000	= 48 kg
KGMAX (klabh.) = 0,048 x 2000	= 96 kg
KGMAX (kbabh.) = 0,003 x 36 x 1000 x 1/0,98	= 114,7 kg
KGMAX = min { 96, 114,7 }	= 96 kg
ZVS = 100 x 10 x 0,003	= 3 kg
KGMIN (fstabh.) = (15 + 3) x 1/0,98 x 1/0,96	= 19,13 kg
KGMIN = max { 48, 19,13 }	= 48 kg

5.2.2. Ermittlung eines Richtwertes für die Vormaterialeinsatzmenge

In diesem Modul erfolgt die stufenweise Hochrechnung der zur Auftragsdeckung erforderlichen Materialeinsatzmengen. Dabei wird grundsätzlich jener Lösungsweg beschritten, der im Rahmen der Problemanalyse in Abschnitt 4.2.2.2.3. beschrieben wurde.

Als Ergänzung zu den Ausführungen jenes Abschnittes seien folgende Bemerkungen festgehalten:

(1) Als Ziel- bzw. Ausgangsmenge dient die maximale Walzmenge WMMAX (siehe Abschnitt 5.2.1.2.). Diese Menge wird deshalb gewählt, weil in dieser Rechenphase nicht bekannt ist, welche Verschnitte entstehen, wenn diesem Auftrag eine bestimmte Vormaterialmenge zugeordnet wird. Anfallende Verschnitte sollten daher durch den Differenzbetrag WMMAX - WMMIN aufgefangen werden.

(2) Der relevante Walzverlust wird zur Berücksichtigung des mit Sicherheit anfallenden Endenschrotts um 1 % erhöht.

(3) Während durch die vorhandenen Walzrestriktionsdaten die zur Berechnung erforderlichen Walzverlust- und Arbeitsgangfaktoren (bezogen auf die Knüppelmenge) bekannt sind und eine Hochrechnung bis zur Materialeinsatzmenge vor einem eventuell durchzuführenden Zusatzarbeitsgang ohne Schwierigkeiten durchführbar ist, gestaltet sich die weitere Hochrechnung problematisch. Der Grund dafür ist darin zu sehen, daß in dieser Phase überhaupt nicht vorhersehbar ist, welche Vormaterialdimension während der Vormaterialrecherche für eine Zuteilung in Frage kommt. Es kann sich dabei um Rohblöcke, aber auch um bereits einige Male zwischengewalztes Halbzeug handeln. Für beide aber gelten unterschiedliche Umblock-Walzverlust- und Arbeitsgangfaktoren.

Als Ausweg aus diesem Dilemma wird folgende Lösung gewählt: Es wird eine zwischen den Extrema Knüppeldimension und Rohblockformat liegende Vormaterialdimension, z. B. 4-kant 240, als fiktives Einsatzmaterial definiert. Für dieses Material wird die Dimensionsklasse bestimmt; über diese ist es möglich, aus der Umblockdatei den entsprechenden Walzverlustfaktor WVU und aus der Arbeitsgangdatei den Arbeitsgangfaktor zu übernehmen und die Hochrechnung bis zur Vormaterialeinsatzmenge VEM vorzunehmen.

Es ist natürlich einleuchtend, daß die eben erörterte Vorgehensweise dann zu falschen Ergebnissen führt, wenn bei der Vormaterialdisposition andere Dimensionen in Betracht gezogen werden. Hier wird z. B. bei kleineren Dimensionen die ausgewiesene Vormaterialeinsatzmenge tendenziell zu groß, bei Rohblöcken tendenziell zu klein sein. Es sei aber hierzu nochmals erwähnt, daß es sich bei der Ermittlung dieser Vormaterialeinsatzmenge nur um einen Richtwert handelt, der bei der VM-Recherche gute Dienste leisten kann, daß aber ein Abweichen der tatsächlich erforderlichen Vormaterialmenge von der "prognostizierten" zu keinen negativen Auswirkungen auf die Entscheidungsfindung führt.

Die Bestimmung des globalen Richtwertes für die Vormaterialeinsatzmenge VEM zeigt in Fortsetzung unseres Beispiels von Abbildung 5.2.2./1. Dabei wird vorausgesetzt, daß vor Beginn der Hochrechnung aus der Umblock- und Arbeitsgangdatei die für das fiktive Vormaterial (4-kant 240) gültigen Verlustparameter berücksichtigt wurden. Der Umblock-Walzverlustfaktor WVU (240/80), der bei einem Transformationsvorgang von 4-kant 240 auf die Knüppeldimension 4-kant 80 gelte, betrage 0,96, der Arbeitsgangfaktor AGF für das am Vormaterial durchzuführende Putzflämmen betrage 0,97.

Abb. 5.2.2./1	Ermittlung eines globalen Richtwertes für die erforderliche Vormaterialeinsatzmenge

$$VEM = WMMAX \times 1/(WVF - 0{,}01) \times 1/AGF\ (14) \times 1/WVU \times 1/AGF\ (4)$$

$$= 2594 \times 1/0{,}97 \times 1/0{,}96 \times 1/0{,}96 \times 1/0{,}97$$

$$= 2991\ kg$$

5.2.3. Bestimmung einer optimalen Vormaterial-Aufteilungsalternative

Ziel dieses Moduls ist die Ermittlung der kostengünstigsten Aufteilungsalternative eines Vormaterials. Dabei geht es

- zum einen um das Auffinden zulässiger Aufteilungsmöglichkeiten, wobei die relevanten Auftrags-, Walzrestriktions- und Vormaterialdaten zu berücksichtigen sind,

- zum anderen um die Bewertung der ökonomisch relevanten Komponenten einer Alternative.

Beides geschieht in einer quasi simultanen Mengen- und Bewertungsrechnung. Dabei besteht die Aufgabe der Mengenrechnung u. a. in der Ermittlung des für Bewertungszwecke erforderlichen Mengengerüsts.

Die Bewertung erfolgt im Prinzip in der Art, wie dies bereits im Rahmen der Problemanalyse (Abschnitt 4.3.1.) beschrieben wurde.

Für die Vormaterialaufteilung wurde ein spezielles heuristisches Verfahren entwickelt, das die Aufgabenstellung

- unter Berücksichtigung der problemspezifischen Eigenheiten und
- mit vertretbarem Aufwand

zu lösen imstande ist[1].

5.2.3.1. Datenbereitstellung

Es ist davon auszugehen, daß für die durchzuführenden Berechnungen

- die in Abschnitt 5.2.1. festgelegten Ausgangsdaten und Parameter weiterhin systemresident sind und

- die im Rahmen der Vormaterialrecherche gefundenen quantitativen Daten einer bestimmten Vormaterialposition in den Rechner übertragen wurden.

Konkret handelt es sich dabei um das Profil des Vormaterials PRKZ, dessen Breite AMAV (mm), dessen Höhe AMBV (mm), dessen Länge, das Gesamtgewicht dieser Position GPOS, die Zahl der Einzelstücke dieser Position STK und der Bearbeitungszustand BEABZ in Gestalt der Nummer des am Vormaterial durchgeführten Zusatzarbeitsganges (vgl. auch Tabelle 5.1.2.1./2)[2] sowie den Lagerort LO.

---

[1] Bei der detaillierten Beschreibung der eingesetzten Algorithmen wird eine Anzahl symbolischer Feldnamen verwendet, deren Inhalt sich z. T. auf vormaterialbezogene, z. T. auf knüppelbezogene Aussagen bezieht. Aus diesem Grund werden dort, wo es zur Erzielung der Eindeutigkeit empfehlenswert erscheint, zusätzliche symbolische Indices verwendet. So steht z. B. V für Vormaterial, K für Knüppel, KR für Knüppelrest, R für Rohblock, U für Umblocken und F für Fertigwalzung.

[2] Es sei nochmals darauf verwiesen, daß neben dem Bearbeitungszustand in der Praxis noch weitere chargen- und bestandsbezogene qualitative Daten zur Beurteilung einer VM-Position herangezogen werden. Von deren Berücksichtigung wird jedoch in dieser Arbeit bewußt Abstand genommen.

5.2.3.2. Ermittlung vormaterialabhängiger Ausgangs- und Bewertungsdaten bzw. -parameter

Zunächst ist aus dem Gesamtgewicht einer Bestandsposition das dispositive Stückgewicht zu errechnen:

$$STKGEW = \frac{GPOS}{STK} .$$

Dann muß festgestellt werden, ob das gesuchte Vormaterial im Querschnitt eventuell mit dem Knüppelquerschnitt übereinstimmt. Ist dies der Fall, braucht kein Umblockvorgang durchgeführt zu werden. Der Umblock-Walzverlustfaktor WVU_V wird 1, der entsprechende Walzkostensatz $WKSU_V$ 0 gesetzt. Im anderen Fall sind der Querschnitt des Vormaterials einer Dimensionsklasse DK_V zuzuordnen und aus der Umblockdatei die für den Umblockvorgang Vormaterial - Knüppel (DK_V - DK_K) gültigen Faktoren WVU_V und $WKSU_V$ aus der Umblockdatei einzulesen.

Analog dazu ist die Vorgehensweise bei der Festsetzung der Arbeitsgangfaktoren: Zeigt sich eine Übereinstimmung zwischen Bearbeitungszustand des Vormaterials und dem geforderten Zusatzarbeitsgang aus den Auftragsdaten, wird der entsprechende Arbeitsgangfaktor AGF_V 1 und der Arbeitsgangkostensatz $AGKS_V$ 0 gesetzt. Andernfalls wird der dimensionsklassenabhängige AGF_V und $AGKS_V$ aus der Arbeitsgangdatei eingelesen.

Die Festlegung der arbeitsgangrelevanten Daten für Zusatzarbeitsgänge an den Knüppeln AGF_K und $AGKS_K$ erfolgt entsprechend.

Bei der allgemeinen Diskussion der Bewertungsproblematik (Abschnitt 4.3.2.2.1.) wurde erklärt, daß die Reproduktionskosten in die Bewertung von Aufteilungs- und Zuteilungsalternativen eingehen müßten. Sie sind jedoch nicht als Datum gespeichert, sondern müssen in einer kombinierten Mengen- und Bewertungsrechnung ermittelt werden.

Dazu ist es erforderlich, den Produktionsprozeß ausgehend vom vorhandenen Vormaterial bis hin zur notwendigen Erschmelzungsmenge unter Berücksichtigung eventueller Verlustfaktoren hochzurechnen. Die durchzuführenden Rechenschritte sind unter der Annahme, daß das Vormaterial bereits speziell bearbeitet wurde, in Abbildung 5.2.3.2./1 skizziert.

Die relevanten Arbeitsgangfaktoren und -bewertungsansätze werden in diesem Zusammenhang aus der Arbeitsgangdatei, die zur Bewertung der Umblockvorgänge "erschmolzener Rohblock - Vormaterial" benötigten Parameter WVU_R und $WKSU_R$ aus der Umblockdatei entnommen. Als Rohblockbasis wird jenes Format festgelegt, bei dem das Durchschnittsblockgewicht 4000 kg beträgt. Durch diese Vereinbarung ist sichergestellt, daß sich die Reproduktionskosten immer auf die gleiche Ausgangsbasis beziehen.

Abb. 5.2.3.2./1	Allgemeiner Ablauf der Reproduktionskostenermittlung

Mengenrechnung	Bewertungsrechnung
$STKGEW \times 1/AGF_V = M1$	$M1 \times AGKS_V = AGK_V$
$M1 \times 1/WVU_R = EM$	$EM \times WKSU_R = UK_R$
	$EM \times EKS = EK$
	$RK_V = AGK_V + EK + UK_R$

Legende:

M1 Vormaterialgewicht vor Zusatzarbeitsgang
EM Erschmelzungsgewicht des Vormaterials
AGK_V Arbeitsgangkosten des Vormaterials
UK_R Umblockkosten (Rohblock-Vormaterial)
EK Erschmelzungskosten des VM
RK_V Reproduktionskosten des VM

Bezogen auf eine ME (kg) eines Vormaterials haben die Reproduktionskosten den Wert

$$RK = RK_V/STKGEW.$$

5.2.3.3. Grundsätzliche Überlegungen zur Vormaterialaufteilung

Die Vormaterialaufteilung kann (vgl. Abschnitt 4.3.1.1.) unter der Zielsetzung "Walzleistungsmaximierung" oder "Verschnittminimierung" erfolgen. Im ersten Fall ist man bestrebt, bei der Fertigwalzung möglichst lange Knüppel einzusetzen, d. h., den Auftrag mit einer möglichst geringen Anzahl von Knüppeln zu erfüllen. Dadurch gelingt es, die Leerzeiten bei der Fertigwalzung und als Folge dessen auch die gesamten Fertigwalzkosten zu minimieren. Geht man nun von der bisher praktizierten Prämisse aus, daß bei der Fertigwalzung nur Knüppel gleicher Länge zum Einsatz kommen sollen, dann ergibt sich bei der Verfolgung der genannten Zielsetzung als zwangsläufige Konsequenz u. U. ein erheblicher Verschnittanfall beim Umblocken.

Möchte man hingegen den Gesamtverschnitt minimieren, d. h. eine ganzzahlige Aufteilung der Knüppel in Fertigwalzstäbe und eine ganzzahlige Aufteilung des Vormaterials in gleich lange Knüppel anstreben, dann führt dies sehr oft zum Einsatz vieler kleiner Knüppel, wobei sich auch bei einer derartigen Aufteilung Verschnitt vielfach nicht vermeiden läßt.

Ganz allgemein gilt zur Vormaterialaufteilung die Feststellung, daß man dann, wenn schon Verschnitt anfallen sollte, diesen grundsätzlich so disponiert, daß er beim Umblockvorgang und nicht bei der Fertigwalzung entsteht. Diese prinzipielle Vorgehensweise läßt sich unter Wirtschaftlichkeitsaspekten so erklären, daß das Fertigwalzen von Verschnitt nur Walzkosten verursachen, nicht jedoch zu einem höheren Schrotterlös führen und so indirekt zu einer Erhöhung der Aufteilkosten beitragen würde.

Die reinen Mengenaspekte der Vormaterialaufteilung seien anhand eines kleines schematischen Beispiels, bei dem bewußt alle Elemente der Bewertung und der fertigungsbedingten Materialverluste außer acht gelassen werden, erörtert.

Ausgangspunkt sei ein Vormaterial mit 396 kg. Das vorgegebene fixe Stabgewicht sei 10 kg, das maximale Knüppelgewicht 96 und das minimale 45 kg.

Unter der Prämisse der Ganzzahligkeit gleicher Knüppel und Fertigwalzstäbe und der Zulässigkeit von zwangsläufigem Verschnittanfall bei der Zwischenwalzung läßt sich das Prinzip der Aufteilung wie folgt beschreiben:

Zunächst wird eine Aufteilung in Knüppel mit KGMAX (96 kg) versucht. Man erhält in diesem Fall vier brauchbare Knüppel. Aus einem Knüppel von 96 kg lassen sich neun Fertigstäbe à 10 kg, insgesamt also eine brauchbare Walzmenge je Knüppel von 90 kg walzen. Zur Vermeidung von dispositivem Fertigwalzverschnitt wird man nur Knüppel mit 90 kg einsetzen, wodurch bei der Zwischenwalzung ein Verschnitt von 36 kg anfällt.

Durch diese relativ einfache Vorgehensweise ist zunächst eine Alternative festgelegt.

In der Folge wird die Knüppelzahl iterativ jeweils um 1 erhöht und nach dem eben beschriebenen Verfahren eine neue Aufteilungsalternative errechnet.

Tabelle 5.2.3.3./1 zeigt die unter den getroffenen Annahmen insgesamt erzielbaren Aufteilungsalternativen.

Eine Besonderheit bzw. ein Abweichen von der Prämisse "kein dispositiver Verschnitt bei der Fertigwalzung" stellt Alternative 5 dar. Hier wäre an und für sich zur Fertigung

Tab. 5.2.3.3./1		Vergleich möglicher Aufteilungsalternativen unter der Prämisse gleicher Knüppeleinsatzgewichte			
Alternative	Knüppelzahl	Knüppelgewicht	Stabzahl	Eff. notwendiges Knüppelgewicht	Knüppelrest / Verschnitt
1	4	96	9	90	36
2	5	78,2	7	70	46
3	6	66	6	60	36
4	7	56,57	5	50	46
5	8	49,5	4	40 bzw. 45	36 bzw. 76

von vier Stäben nur ein Knüppelgewicht von 40 kg erforderlich. Aufgrund der Tatsache, daß das minimal zulässige Knüppelgewicht bei 45 kg liegt, muß dieses für die Fertigung gewählt werden. Das heißt, es fällt in diesem Fall auch bei der Fertigwalzung ein Verschnitt von 5 kg je Knüppel an. Der verbleibende Umblockverschnitt beträgt 36, der Gesamtverschnitt jedoch 76 kg.

Aus Tabelle 5.2.3.3./1 ist zu ersehen, daß der Einsatz ausschließlich gleicher Knüppelgewichte in der Regel zu schlechten Aufteilungsergebnissen führt.

Aus diesem Grund wird im dargestellten Lösungsansatz die Prämisse gleicher Knüppellängen bzw. -gewichte nicht mehr voll berücksichtigt. Das heißt nicht, daß bei der VM-Aufteilung unterschiedliche Knüppelgewichte errechnet werden, sondern vielmehr, daß man unter bestimmten Umständen Knüppelrest als einsetzbar ansieht.

Dem liegen folgende Überlegungen zugrunde:

(1) Eine Aufteilung von Vormaterialien in unterschiedliche Knüppellängen kann z. Zt. aus fertigungstechnischen Gründen nicht erfolgen, weil während des Walzprozesses eine Veränderung des Anschlagbrettes an der Teilanlage unmöglich ist. Diese Restriktion soll auch in Zukunft nicht verletzt werden, da nur daran gedacht ist, Knüppelreste, die zwangsläufig anfallen, bei der Fertigwalzung einzusetzen.

(2) Als weiterer Grund für den Nichteinsatz unterschiedlicher Knüppellängen bei der Fertigwalzung gilt die fertigungstechnische Restriktion, daß zu große Längendifferenzen beim Einsatzmaterial eines Auftrages zu Transportschwierigkeiten in den automatisch gesteuerten Stoßöfen führen können. Dem ist entgegenzuhalten, daß auch in der Gegenwart beim Wechsel von einem Auftrag zum anderen aufgrund der auftrags- und vormaterialindividuellen Halbzeugberechnung Knüppel unterschiedlicher Länge den Stoßofen passieren. Folglich muß es auch möglich sein, innerhalb eines Auftrages unterschiedliche Knüppellängen zu verwenden, sofern deren Längen- bzw. Gewichtsdifferenz nicht zu groß ist.

Aus der Überlegung heraus, daß eine zweite unterschiedliche Knüppellänge in Form eines Knüppelrestes das Aufteilungsergebnis u. U. erheblich verbessern kann, ohne dadurch (abgesehen von den dafür anfallenden Fertigwalzkosten) zusätzliche Kosten zu verursachen, wird im Lösungsansatz die Verwendung von Knüppelresten, sofern sie einen bestimmten Prozentsatz der errechneten ganzzahligen Knüppellänge erreichen, zugelassen. Die Steuerung, wie groß ein Knüppelrest sein muß, erfolgt über einen Parameter K ($0 \leq K \leq 1$). Wird $K = 1$ gesetzt, dann sind keine Reste zulässig und es zählt nur der Einsatz gleicher Knüppellängen.

Unter der Annahme, daß für unser Beispiel K = 0,8 betrage, führt die Überprüfung der Umblockverschnitte zum Einsatz des Knüppelrestes der Alternative 4. Hier ist der Grenzwert KGR 40 kg (50 x 0,8), der Knüppelrest 46. Bei der Fertigwalzung erhält man aus diesem Rest 4 Stäbe und einen nicht vermeidbaren Stabverschnitt von 6 kg.

Die beschriebene Vorgehensweise (iterative Erhöhung der Knüppelzahl mit anschließender Prüfung des Verschnitts) führt also bei Alternative 4 zum Verschnittminimum.

Die Verwendung eines entstehenden Knüppelrestes als "einsetzbaren Knüppel" ist jedoch nur ein Aspekt der Verschnittreduzierung. Es ist zu überlegen, ob Verschnitt nicht auch auf andere Weise abgebaut werden kann, und zwar dadurch, daß man ihn den ganzzahligen Knüppeln einer Alternative zuteilt. Die Durchführung sei anhand der Alternative 2 (Tabelle 5.2.3.3./1) exerziert:

Die iterative Vorgehensweise führt hier zu 5 Knüppeln à 70 kg und einem Verschnitt von 46 kg. Die fiktive Verwendung dieses Verschnitts ergibt 4 Stäbe und 6 kg Verschnitt.

Schlägt man nun je einen Fertigstab aus dem Verschnitt den Knüppel 1 bis 4 zu und den verbleibenden Verschnitt dem Knüppel 5, dann erhält man eine neue, zulässige Aufteilungsalternative (4 Knüppel à 80 kg, 1 Knüppel mit 76 kg), die zum gleichen Verschnittergebnis führt wie die Alternative 4 mit verwendbarem Knüppelrest, die jedoch im Gegensatz zu dieser bei der Fertigwalzung nicht zum Einsatz von 8 sondern nur von 5 Knüppeln führt und allein unter dem Aspekt der Leerzeitkosten wesentlich günstiger einzustufen ist.

5.2.3.4. Vormaterialaufteilung bei fixen Stablängen

Die folgenden Ausführungen sind eine verbale Beschreibung der in den Abbildungen 5.2.3.4.1./1 und 5.2.3.4.2./1 formal dargestellten Aufteil- und Bewertungslogik, wie sie zum Auffinden günstiger Aufteilungsalternativen bei fest vorgegebener Stablänge eingesetzt wird.

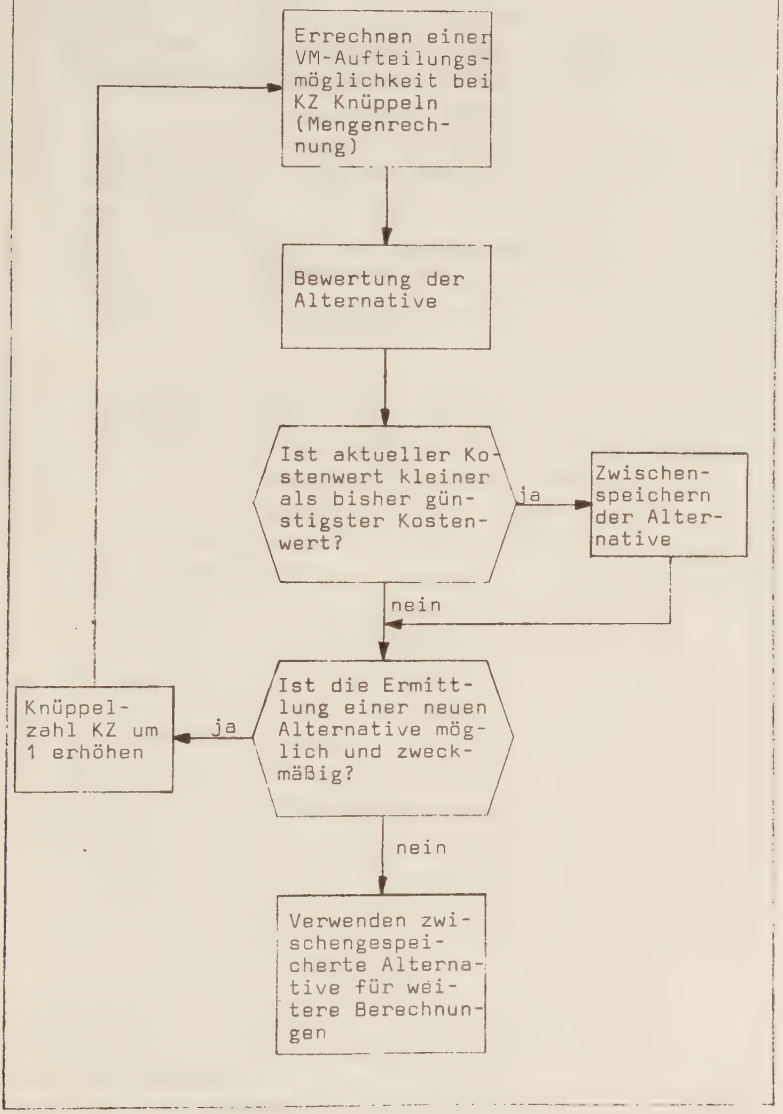
Im Prinzip werden hier, wie im vorhergehenden Beispiel bereits erläutert, ausgehend vom maximal einsetzbaren Knüppelgewicht durch iterative Erhöhung der Knüppelzahl um 1 und Überprüfung der Verwendbarkeit anfallenden Verschnitts die Mengendaten verschiedener Alternativen errechnet und die entscheidungsrelevanten Daten entsprechend den Ausführungen des Abschnitts 4.3.1. bewertet. Ist die gerade errechnete Alternative kostengünstiger als die bisher kostenminimale, wird sie zwischengespeichert.

Eine Globalübersicht des Entscheidungsablaufes zeigt Abbildung 5.2.3.4./1.

5.2.3.4.1. Mengenrechnung (Abbildung 5.2.3.4.1./1)

(1) Bevor die eigentliche Aufteilungsrechnung beginnt, ist in ein Vergleichskostenfeld VKF eine große Zahl zu übertragen und der aus dem Vormaterial erhältliche Halbzeugstrang HZS zu errechnen. Dabei sind Arbeitsgang- und Umblock-Walzverlustfaktor zu berücksichtigen. (Ist z. B. kein zusätzlicher Arbeitsgang erforderlich und das Vormaterial im Querschnitt genau passend, dann werden AGF_V und WVU_V 1 gesetzt (= mengenmäßige Identität von HZS und STKGEW).) Dieser Halbzeugstrang ist für die weitere Betrachtung jene Materialmenge, die in Knüppel aufgeteilt werden kann.

Abb. 5.2.3.4./1 Globaler Ablauf der Vormaterialaufteilung



(2) Dann wird versucht, die größtmöglichen Knüppel, d. h. jene mit dem Gewicht KGMAX einzusetzen. In diesem Fall erhält man KZ Knüppel gleicher Länge.

(3) Der Einsatz eines dieser Knüppel führt bei der Fertigwalzung unter Berücksichtigung eintretender Materialverluste bei der Durchführung von Zusatzarbeitsgängen und bei der Fertigwalzung zu einer Walzader WM_K, aus der man eine bestimmte ganzzahlige Anzahl Fertigstäbe SZ_K mit einem fixen Stabgewicht SG erhält. Bei der Aufteilung ist darauf zu achten, daß ein bestimmter Teil der Walzader, nämlich der zwingend auftretende Endenschrott als Verschnitt anfällt, d. h. mit anderen Worten, die dispositive Länge der Walzader reduziert.

(4) Für den Fall, daß die Aufteilung der Walzader nicht ganzzahlig möglich ist, wird für die ganzzahlige Stabzahl die dafür effektiv erforderliche Walzader, sowie ein neues Knüppelgewicht, das bei der Fertigwalzung zu keinem Verschnitt führt, rückgerechnet.

(5) Sollte dieses neue in der Regel kleinere Knüppelgewicht nach einer Reihe von Iterationsschritten kleiner sein als das minimal zulässige Knüppelgewicht, dann wird nach (17) verfahren.

(6) Das neue Knüppelgewicht führt u. U. zu einer im Vergleich zur Ausgangssituation erhöhten Anzahl aus dem Vormaterial erhältlicher Knüppel KZ, die für Bewertungszwecke in einem eigenen Feld $\overline{KZ}$ zwischengespeichert wird, und einer bestimmten Anzahl von Fertigstäben SZ_V.

(7) Die ganzzahlige Aufteilung des Vormaterials in Knüppel, bei denen sich bei Fertigwalzung kein Verschnitt einstellt, führt möglicherweise zu einem Verschnitt VS_U beim Umblocken.

(8) Ist der Verschnitt kleiner als die Knüppelrestgrenze KGR, dann wird versucht, diesen Verschnitt durch Zuschlag auf die vorhandenen Knüppel abzubauen (13).

(9) Andernfalls wird der Verschnitt als einsetzbarer Knüppelrest KR betrachtet und für die weitere Berechnung nicht mehr als Verschnitt angesehen.

(10) Als Knüppelrest führt der Verschnitt bei der Fertigwalzung zu einer Walzader WM_{KR}, die sich wieder in Fertigstäbe SZ_{KR} teilen läßt und zu einer Erhöhung der bisher ermittelten Vormaterial-Stabzahl SZ_V führt. Durch die Zulässigkeit des Knüppelrestes wird auch die Zahl der einsetzbaren Knüppel um 1 größer.

(11) Es ist aufgrund der bereits erwähnten Ganzzahligkeitsbedingung der Stäbe zu erwarten, daß sich ein Fertigstabverschnitt VS_F ergibt, der sich bei dieser Aufteilungsalternative nicht mehr verringern läßt.

(12) Anschließend wird der bei dieser Alternative zu erwartende Gesamtverschnitt GVS_V sowie die gesamte nutzbare Walzmenge WM_V des Vormaterials ermittelt, die Bewertung (siehe nächsten Abschnitt) durchgeführt und eventuell eine neue Alternative (18) errechnet.

(13) Wenn der Umblockverschnitt kleiner ist als die Knüppelrestgrenze, werden der daraus erhältliche Fertigwalzstrang WM_{VS} sowie die entsprechende Stabzahl SZ_{VS} bestimmt. Ist diese kleiner als die um 1 reduzierte Knüppelzahl, dann ist ein Verteilen der Restfertigstäbe auf die vorhandenen Knüppel nicht möglich. Es wird der zusätzliche Aufteilungsversuch abgebrochen und mit Verarbeitungsschritt (12) (Bewertung) fortgefahren.

(14) Im anderen Fall wird geprüft, ob durch eine Erhöhung der Stabzahl je Knüppel eventuell die Knüppelobergrenze verletzt wird. Wenn ja, dann ist auch hier der Aufteilungsversuch abzubrechen und mit (12) fortzufahren[1].

(15) Ist die gesamte Stabzahl aus dem Verschnitt größer als die vorhandene Knüppelzahl, dann wird jeder Knüppel um "eine Stabmenge" SG vermehrt, die gesamte Vormaterialstabzahl sowie der verbleibende Fertigstrangrest bestimmt und ein weiterer Zuschlag dieses Restes versucht (13)[2].

(16) Andernfalls deckt sich die aus dem Verschnitt erhältliche Fertigstabzahl gerade mit der um 1 verringerten Knüppelzahl gleicher Länge $\overline{KZ}$. Diesen Knüppeln wird eine Fertigstablänge zugeschlagen, während der verbleibende Fertigwalzverschnitt dem letzten ohne Zuschlag verbleibenden und nun als Knüppelrest anzusehenden Knüppel zugerechnet wird. Anschließend wird mit Schritt (12) fortgefahren.

(17) Nun kann sich bei bestimmten Datenkonstellationen der Fall ergeben, daß bei der iterativen Knüppelzahlerhöhung KGMIN zunächst nicht verletzt wird, nach Durchführung der Schritte (3) und (4) dies aber der Fall ist. In dieser Situation muß das Knüppelgewicht KG auf die Mindestgrenze angehoben und eine neue Knüppelzahl errechnet werden, da die alte u. U. wegen des erhöhten Knüppelgewichtes aus dem Vormaterial nicht mehr gefertigt werden kann. In der Folge ist zu prüfen, welche Walzmenge und welche Stabzahl aus einem Knüppel erzielt werden können, welcher Fertigstab- und Umblockverschnitt anfällt und wie groß die Vormaterial-Stabzahl ist. Die weitere Vorgehensweise erfolgt entsprechend Schritt (12).

---

[1] Dieser Fall ist z. B. bei der Alternative 1 der Tabelle 5.2.3.3./1 gegeben.

[2] Eine entsprechende Datenkonstellation ist bei sehr kleinen Profilabmessungen durchaus möglich.

Neu im Vergleich zu einer Standard-VM-Aufteilungsalternative ist hier die Tatsache, daß sowohl Umblockverschnitt als auch Fertigwalzverschnitt anfallen kann (Tabelle 5.2.3.3/1., Alternative 5).

(18) Nach der Ermittlung und Bewertung einer Aufteilungsalternative ist die Entscheidung zu treffen, ob es wirtschaftlich und technisch zweckmäßig bzw. möglich ist, durch Erhöhung der Knüppelzahl eine neue Alternative zu finden.

Der Versuch wird grundsätzlich dann unterlassen, wenn Umblock- und dispositiver Fertigwalzverschnitt (VS_U und VS_F) 0 sind. In diesem Fall kann kein besseres Ergebnis mehr erzielt werden.

(19) Andernfalls wird zunächst überprüft, ob eine Erhöhung der Knüppelzahl aus fertigungstechnischen Gründen nicht mehr möglich ist, weil dadurch die Restriktion KGMIN verletzt wird. Dabei ist zu berücksichtigen, auf welche Knüppelzahl sich die Erhöhung beziehen soll: Bei Einsatz von Knüppelresten ist die Ausgangsbasis die Zahl der gleich langen Knüppel $\overline{KZ}$, bei nur gleichlangem Knüppeleinsatz die festgelegte Knüppelzahl KZ, bei der Alternative "Verschnittzuschlag" ebenfalls die Zahl der festgelegten Knüppel KZ und nicht, wie man meinen könnte, die Zahl der gleichlangen Knüppel $\overline{KZ}$ (Gefahr einer Unendlich-Schleife).

(20) Schließlich können auch ökonomische Gründe eine weitere Aufteilung nicht mehr rechtfertigen.

Dazu folgende Überlegungen: Sobald die Knüppelzahl um 1 erhöht wird, steigen gewisse entscheidungsrelevante Kosten sprunghaft an, so z. B. die Aufteilkosten an der Halbzeugstraße, weil ein Trennvorgang mehr erforderlich ist, die Leerzeitkosten bei der Fertigwal-

zung, weil mindestens ein Knüppel mehr eingesetzt wird, desgleichen die Kosten des Zwangsverschnitts bei der Fertigwalzung. Dem stehen mögliche Kosteneinsparungen für vermiedenen Umblock- oder Fertigwalzverschnitt gegenüber.

Betrachtet man nur die wichtigsten Komponenten, dann ist es wohl plausibel, zu sagen, daß der Aufwand für die Ermittlung einer neuen Alternative dann nicht mehr gerechtfertig ist, wenn dabei die möglicherweise vermeidbaren Verschnittkosten VSKO kleiner sind als die zwingend anfallenden zusätzlichen Leerzeitkosten LZK.

Soll ein weiterer Aufteilungsversuch gestartet werden, erfolgt die Fortsetzung des Verfahrens in Schritt (3), werden die Berechnungen hingegen abgebrochen, dann stehen im Zwischenspeicher die Daten der kostengünstigsten Alternative für die weitere Bearbeitung in der Zuteilungsrechnung (siehe Abschnitt 5.2.4.) zur Verfügung.

Abb. 5.2.3.4.1./1	Algorithmus zur Vormaterialaufteilung bei fixen Stablängen

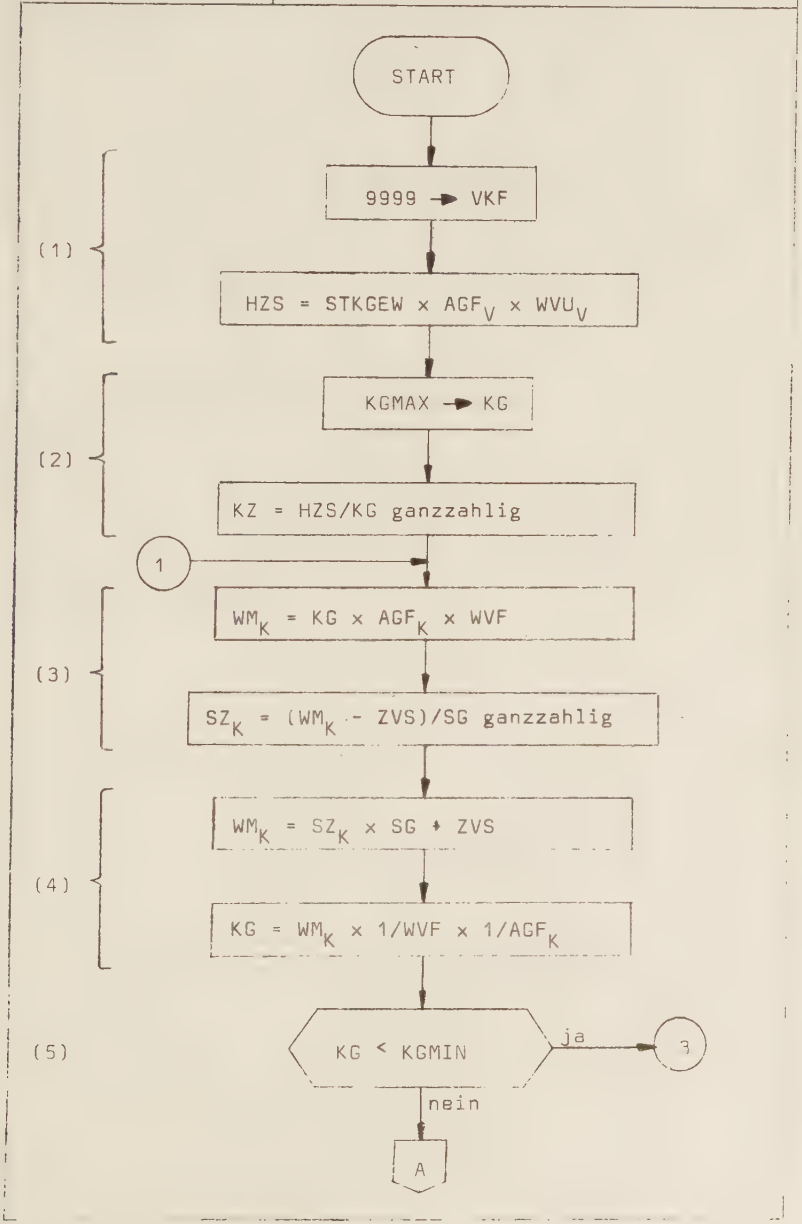


Abb. 5.2.3.4.1./1 Algorithmus zur Vormaterialaufteilung bei fixen Stablängen - Fortsetzung

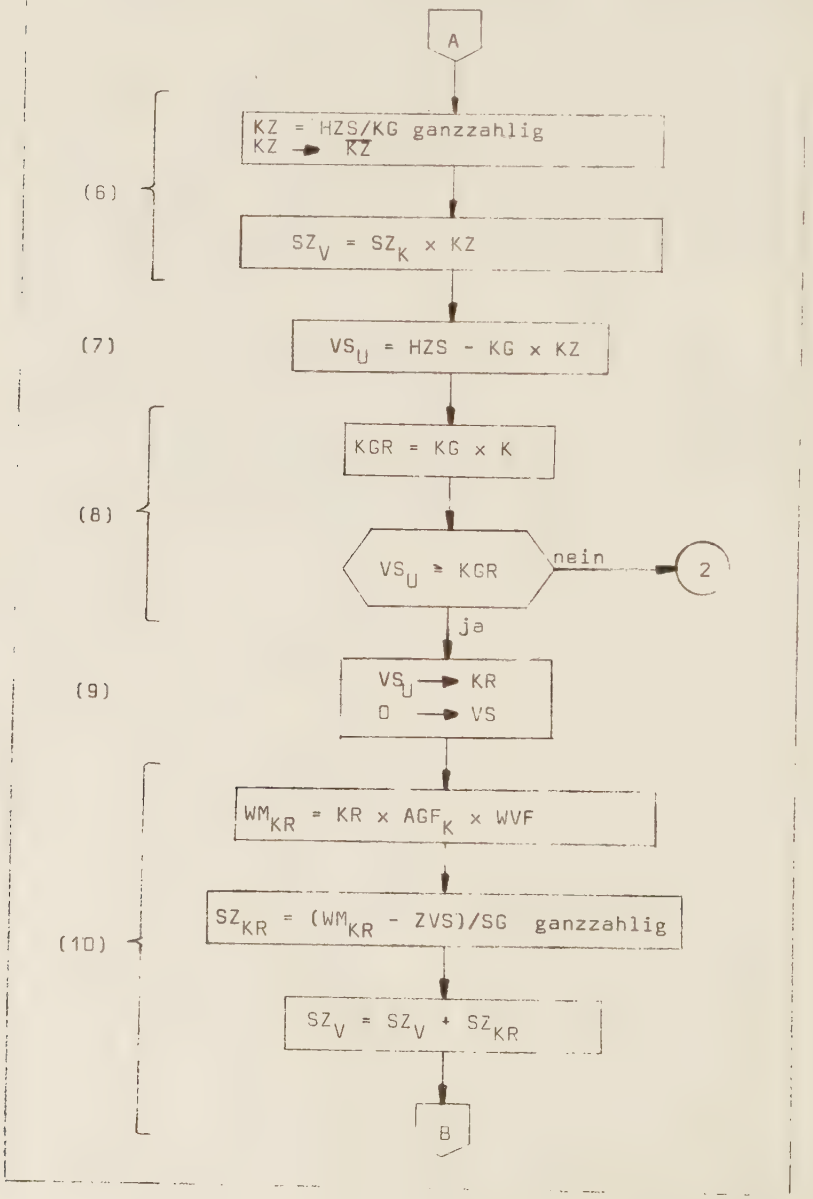


Abb. 5.2.3.4.1./1	Algorithmus zur Vormaterialaufteilung bei fixen Stablängen - Fortsetzung

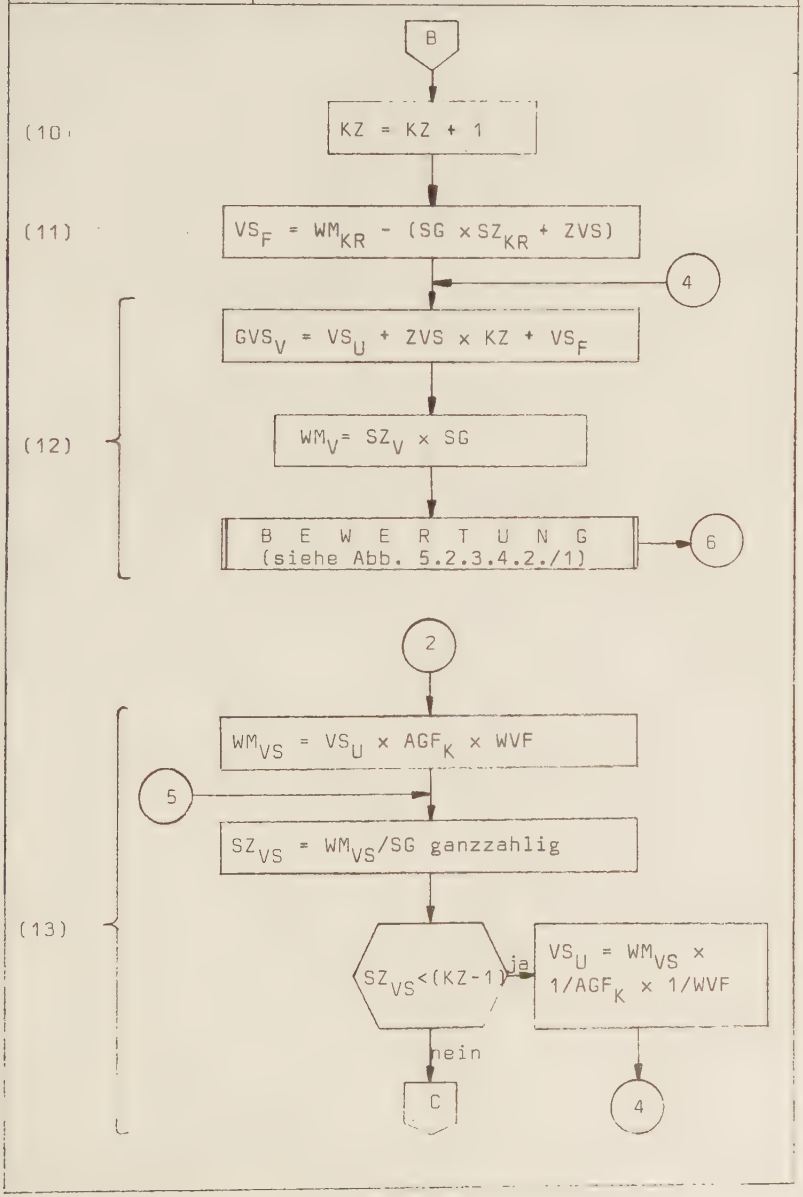


Abb. 5.2.3.4.1./1 Algorithmus zur Vormaterialaufteilung bei fixen Stablängen - Fortsetzung

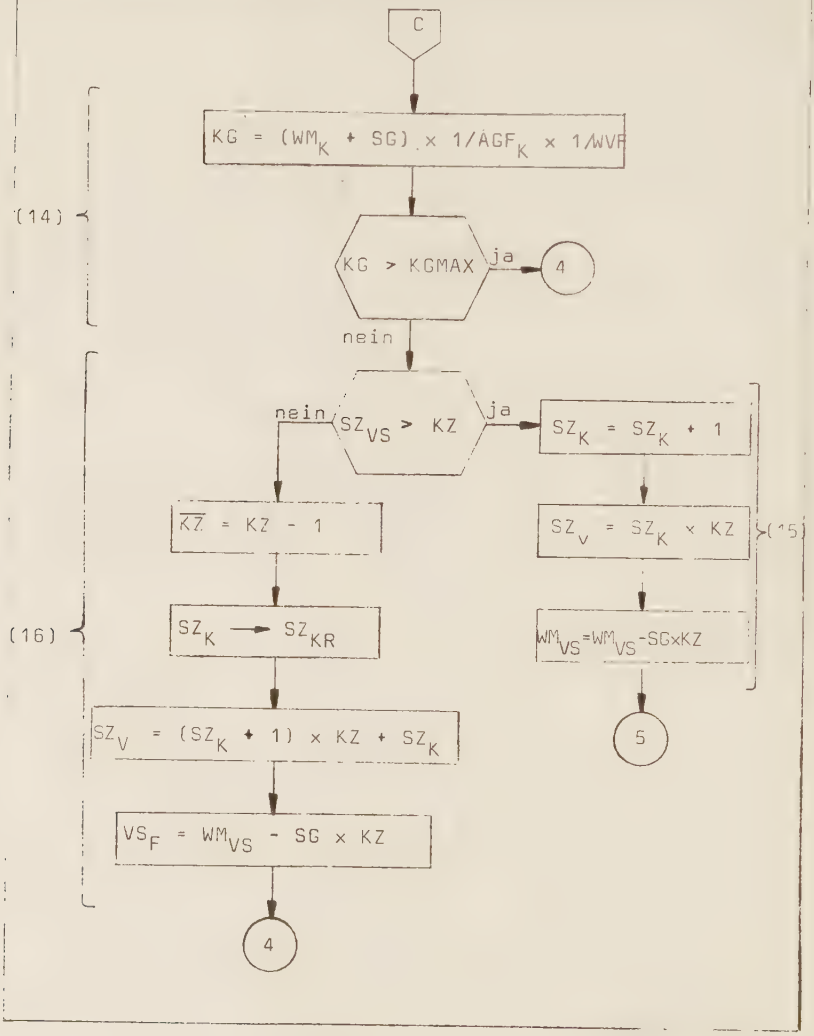


Abb. 5.2.3.4.1./1	Algorithmus zur Vormaterialaufteilung bei fixen Stablängen - Fortsetzung

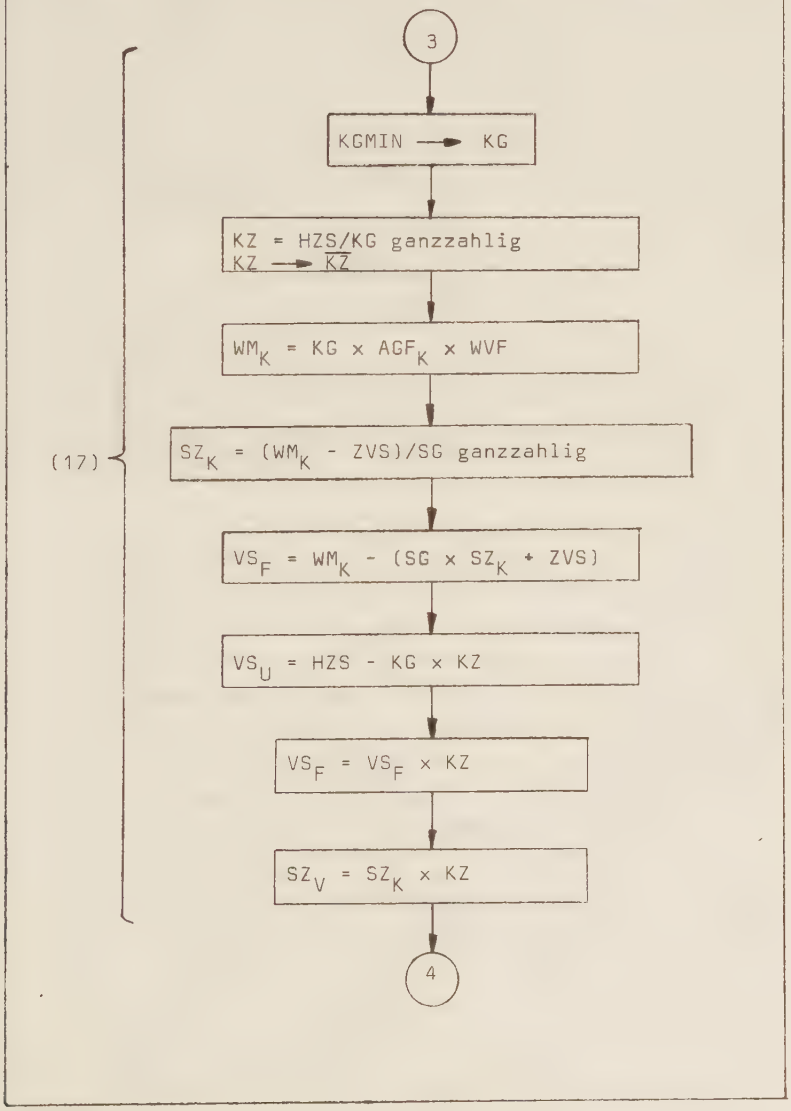
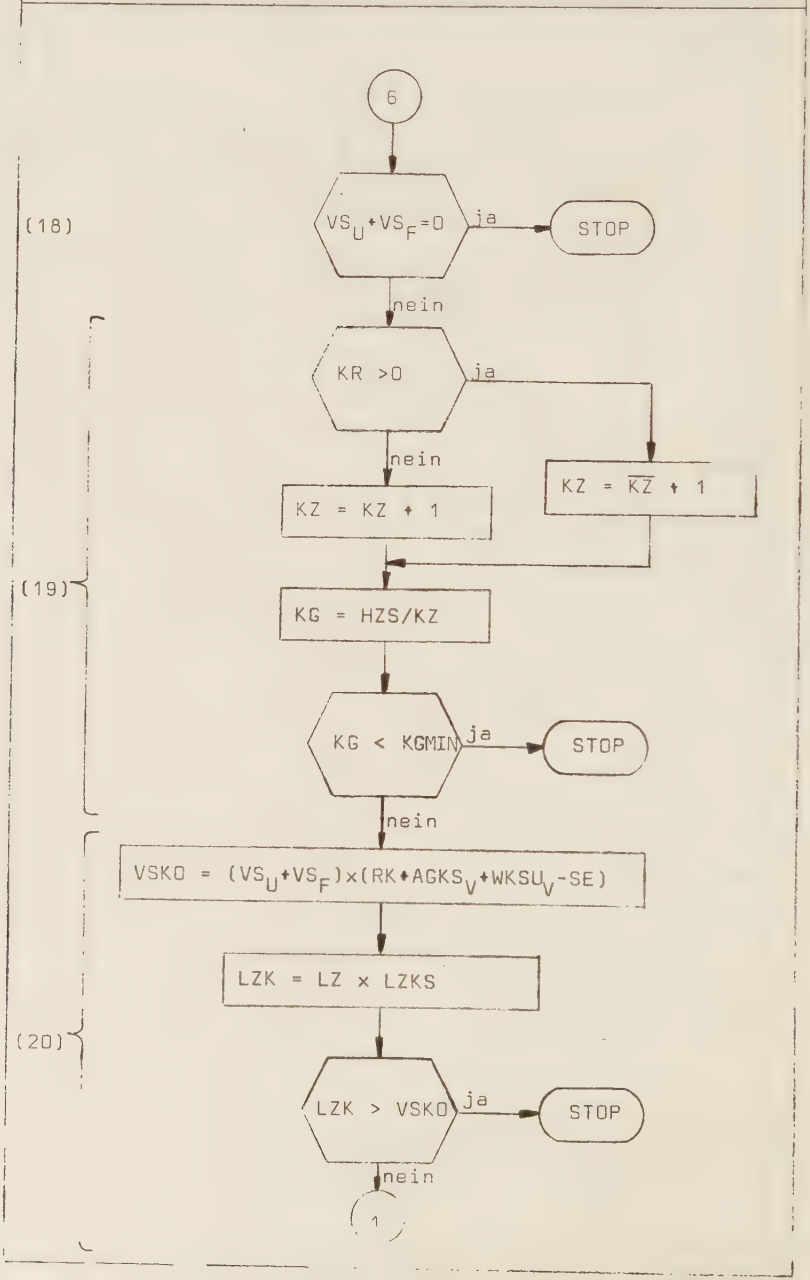


Abb. 5.2.3.4.1./1	Algorithmus zur Vormaterialaufteilung bei fixen Stablängen - Fortsetzung



5.2.3.4.2. Bewertungsrechnung (Abbildung 5.2.3.4.2./1)

Die Aufgabe dieses Moduls besteht in der Ermittlung aller für die Beurteilung einer Aufteilungsalternative relevanten Kostenkomponenten. Das sind neben den bereits bekannten Reproduktionskosten (vgl. Abschnitt 5.2.3.2.) die Arbeitsgang- und Umblockkosten des Vormaterials - diese drei Komponenten sind unabhängig von der Art der gewählten Aufteilung je VM immer gleich hoch -, die Aufteilkosten an der Halbzeugstraße, die Arbeitsgangkosten der Einsatzknüppel, die reinen Fertigwalzkosten, die anfallenden Leerzeitkosten bei der Fertigwalzung, die Schneidekosten für Fertigstäbe und der in die Bewertung als Negativ-Komponente eingehende Schrotterlös für den Verschnitt.

(1) Zunächst werden die je VM konstanten Komponenten Reproduktionskosten RK_V, Arbeitsgangkosten bei Durchführung von Zusatzarbeitsgängen am Vormaterial AGK_V und die Umblockkosten UK_V festgelegt.

(2) Die Aufteilkosten an der Halbzeugstraße AK_V sind abhängig von der Zahl der einsetzbaren Knüppel und einem eventuell anfallenden Umblockverschnitt. Grundsätzlich gilt: Die Zahl der durchzuführenden Trennvorgänge ist immer um 1 kleiner als die Summe der aus einem Vormaterial erreichbaren Einzelstücke (Knüppel und Knüppelrest bzw. Umblockverschnitt). Bei einem einsetzbaren Knüppelrest sind dann $\overline{KZ}$, bei Umblockverschnitt KZ und bei ganzzahliger, verschnittfreier Aufteilung KZ - 1 Trennvorgänge durchzuführen und zu bewerten.

(3) Der Umblockverschnitt beeinflußt auch die zu erwartenden Kosten AGK_K, die einer Aufteilungsalternative zuzurech-

nen sind, wenn die einzusetzenden Knüppel gesondert bearbeitet werden müssen. Hier wird man zweckmäßigerweise anfallenden Umblockverschnitt nicht bearbeiten, sondern vorher bereits der Verschrottung zuführen.

(4) Das gleiche gilt für die Bestimmung der reinen Fertigwalzkosten FWK. Auch hier bleibt anfallender Umblockverschnitt außer Ansatz. Darüber hinaus ist noch zu beachten, daß Zusatzarbeitsgänge an den Knüppeln die entsprechende Materialeinsatzmenge reduzieren. Die tatsächliche Materialeinsatzmenge wird mit dem Walzkostensatz WKSF multipliziert.

(5) Für die Komponente Leerzeitkosten LZK gilt ebenfalls, daß die Anzahl der Leerzeiten um 1 kleiner ist als die Knüppelzahl.

(6) Bei der Berechnung der Schneidekosten SK am Fertigmaterial ist zu beachten, daß wegen des vorhandenen Endenschrottanfalls am Anfang und am Ende eines Stabes die Schnitte je Walzader (= Knüppel) um 1 größer sind als die entsprechende Stabzahl.

(7) Der Schrotterlös SER läßt sich relativ einfach eruieren: Man multipliziert den Gesamtverschnitt mit dem Schrotterlös je ME.

(8) Die gesamten entscheidungsrelevanten Kosten einer Aufteilungsalternative AUKO ergeben sich aus der Addition der einzelnen oben ermittelten Kostenkomponenten mit Ausnahme des Schrotterlöses, der ja einen kostenmindernden Faktor darstellt.

(9) Für objektive Kostenvergleiche unterschiedlicher Aufteilungsalternativen werden diese Gesamtkosten auf die nutzbare Walzmenge dieses Vormaterials bezogen (vgl. dazu die Ausführungen in Abschnitt 4.3.1.2.2.) und ein Wert VKO (= Kosten je 100 kg Fertigmaterial) errechnet.

(10) Für den Fall, daß VKO kleiner ist als die bisher gefundene kostengünstigste Aufteilungsalternative (Wert des Feldes VKF), wird die eben errechnete Aufteilungsalternative mit allen Mengen-, Aufteilungs- und Kostendaten zwischengespeichert und VKO in das Feld VKF für spätere Vergleiche mit anderen Alternativen übertragen.

Damit ist die Bewertung abgeschlossen und die Errechnung einer neuen Aufteilalternative kann beginnen.

Abb. 5.2.3.4.2./1	Algorithmus zur Vormaterialbewertung

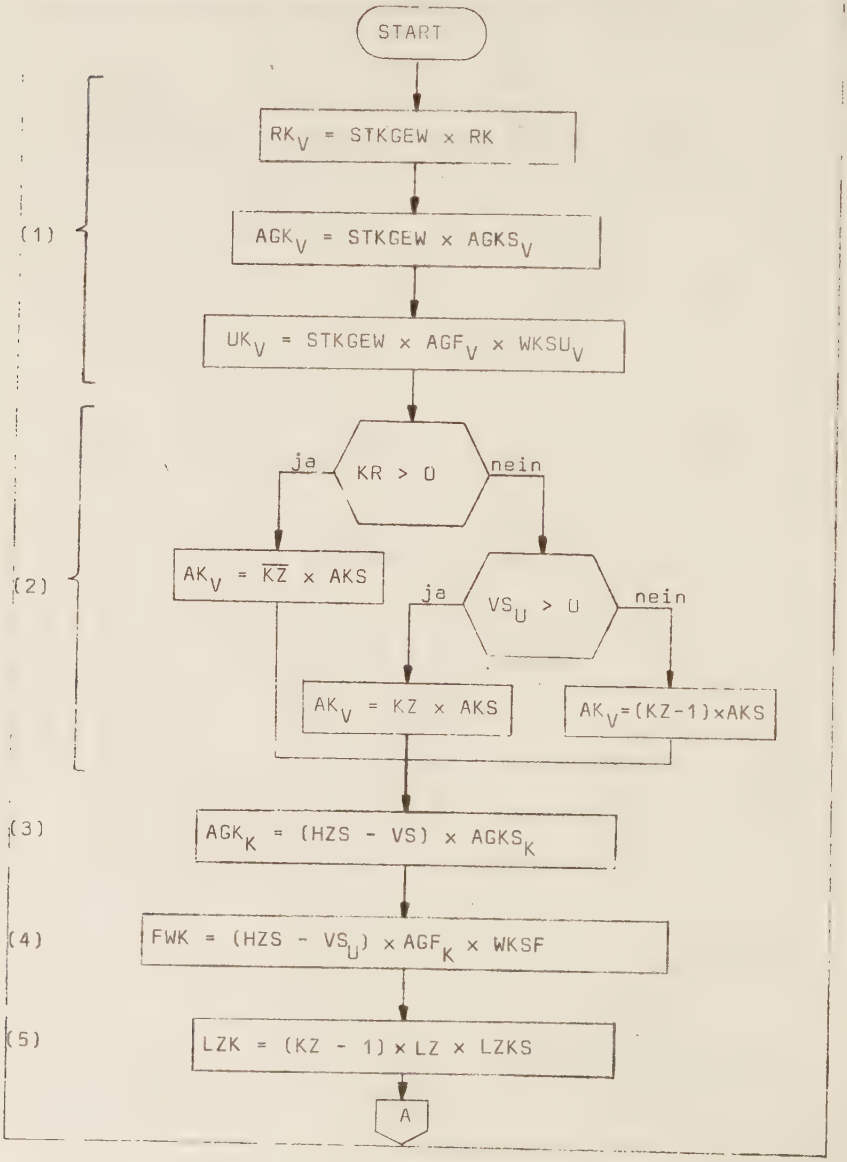
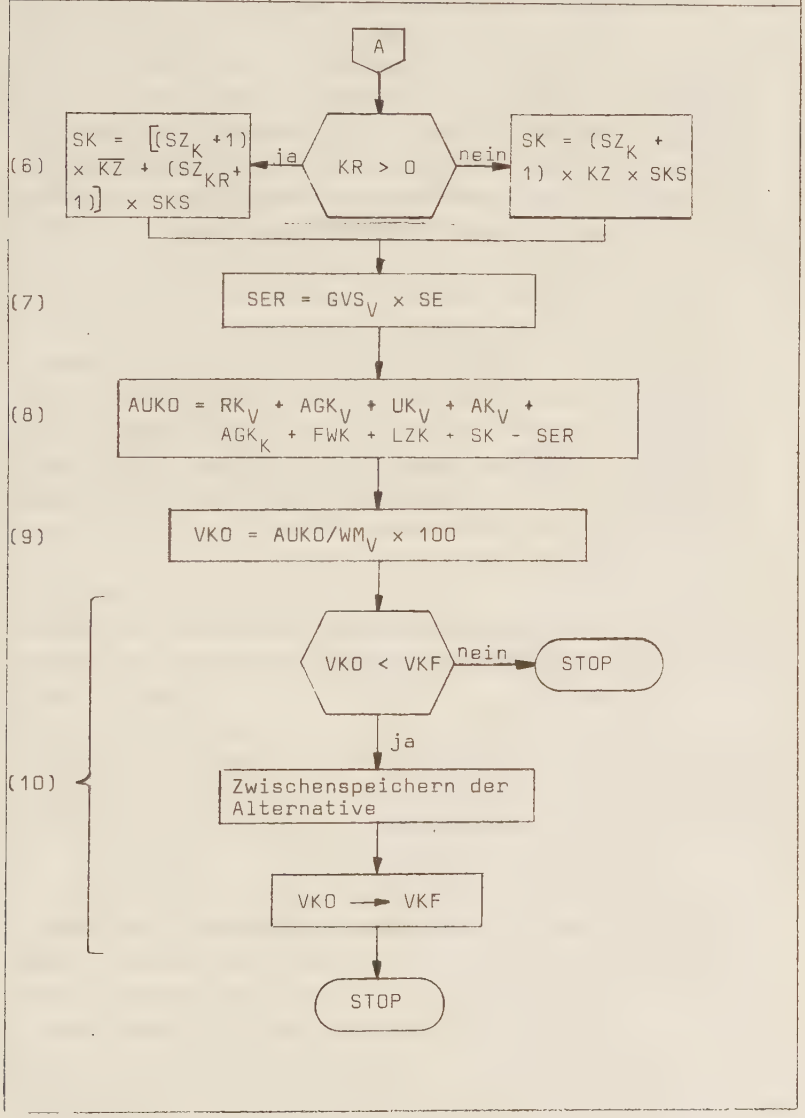


Abb. 5.2.3.4.2./1	Algorithmus zur Vormaterialbewertung - Fortsetzung



5.2.3.5. Vormaterialaufteilung bei variablen Stablängen

5.2.3.5.1. Globale Beschreibung

Enthält der Kundenauftrag Angaben darüber, daß die Fertigstablänge bzw. das entsprechende Gewicht innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereiches liegen darf, dann strebt man aus verschiedenen Gründen die Produktion nur eines im Toleranzbereich liegenden Stabgewichtes an (vgl. Abschnitt 4.2.1.2.).

Bevor das entwickelte Lösungsverfahren im nächsten Abschnitt detailliert beschrieben wird, seien einige der Problemlösungsschritte anhand eines einfachen Beispiels (siehe Tabelle 5.2.3.5.1./1) demonstriert. Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit werden auch in dieser Darstellung die Elemente der Bewertung sowie die fertigungsabhängigen Materialverlustfaktoren und der Endenschrott nicht berücksichtigt.

Die Vorgehensweise ist im Prinzip ähnlich wie bei fixen Stablängen. Ausgangspunkt ist die Verwendung des maximalen Knüppelgewichtes. Entsteht Umblockverschnitt, dann ist zu prüfen, ob dieser tatsächlich verschrottet werden muß oder als Knüppelrest eingesetzt bzw. rechnerisch aufgeteilt und bereits festgelegten Knüppel- bzw. Stabgewichten zugeschlagen werden kann.

Das aufzuteilende Vormaterialgewicht betrage in unserem Beispiel 396 kg. Als zu beachtende Restriktionen gelten das minimale und maximale Knüppelgewicht (KGMIN = 45 kg, KGMAX = 98 kg), das obere und untere Stabgewicht (SGMAX = 18 kg, SGMIN = 17 kg) sowie die Knüppelrestgrenze KGR (KGR = KG x 0,8) ab der der Einsatz von Knüppelresten zur Fertigwalzung zulässig ist.

Alternative 1a geht vom maximalen Knüppelgewicht (96 kg) und vom maximalen Stabgewicht aus. Man erhält dann unter der Prämisse, daß bei der Fertigwalzung kein Verschnitt anfallen soll, 5 Stäbe und ein effektives Knüppelgewicht von 90 kg. Der Umblockverschnitt erreicht 3,6 kg. Alternative 1b zeigt das Ergebnis bei minimalem Stabgewicht. Bei dieser Alternative ist der Umblockverschnitt nicht als eigenständiger Knüppelrest einsetzbar, aber grundsätzlich bestünde die Möglichkeit, den Umblockverschnitt in 3 Stäbe à 17 kg zu teilen und diese den Knüppeln 1 bis 3 zuzuschlagen. Eine Realisierung dieser Verwendungsmöglichkeit scheitert jedoch daran, daß die Restriktion KGMAX durch das neu entstehende effektive Knüppelgewicht von 102 kg (85 und 17) verletzt würde.

Für Alternative 2 wird zunächst die Knüppelzahl um 1 erhöht, 2a bezieht sich auf den Fall, daß SGMAX angestrebt wird. Man erhält dann 4 Knüppel, ein effektives Knüppelgewicht von 72 und einen Umblockverschnitt von 36. Dieser kann weder als Knüppelrest eingesetzt noch fiktiv aufgeteilt und den KZ-1 Knüppeln zugeschlagen werden. Der Versuch, einen Stab mehr je Knüppel zu erhalten, schlägt auch fehl, weil dadurch SGMIN (17 kg) verletzt wird (Alternative 2b).

Die Aufteilung von 5 Knüppeln à 79,2 kg in Stäbe mit einem Gewicht von 17 führt zu 4 Stäben, einem effektiven Knüppelgewicht von 68 kg und einem Umblockverschnitt von 56 kg. Dieser läßt sich nicht in eine ausreichend große Zahl von Fertigstäben aufteilen und (mindestens) 4 Knüppeln zuordnen. Er ist jedoch größer als die Knüppelrestgrenze KGR und daher als Restknüppel einsetzbar. Seine Aufteilung führt zu drei Stäben à 17 kg und zunächst zu einem Fertigwalzverschnitt von 5 kg (Alternative 2d).

Diese Alternative zeigt unter Verschnittgesichtspunkten ein recht gutes Ergebnis. Wollte man jetzt den noch verbleibenden Fertigstabverschnitt von 5 kg abbauen, so ließe sich das an und für sich durch eine Aufteilung auf die 23 Fertigstäbe dieser Alternative erreichen. Das Ergebnis zeigt Al-

Tab: 5.2.3.5.1./1	Prinzip der Vormaterialaufteilung bei variablen Stablängen

Ausgangsdaten:

Vormaterialgewicht = 396 kg, KGMIN = 45 kg, KGMAX = 96 kg, SGMIN = 17 kg, SGMAX = 18 kg, KGR = 0,8 x KG_{eff}

Lösungsschritte:

Alt.	KZ	KG	SG	SZ	KG_{eff}	VS_F	VS bzw. KR	KGR
1a	4	96	18	5	90	(6)	36	72
1b	4	96	17	5	85	(11)	56	68
2a	5	79,2	18	4	72	(7,2)	36	57,5
2b	5	79,2	15,84	5	-	-	-	-
2c	5	79,2	17	4	68	(11,2)	56	54,4
2d	5	-	17	4	68	-	-	54,4
	1	-	17	3	56	5	-	-
(2e)	5	-	17,21	4	68,84	-	-	55,07
	1	-	17,21	3	51,63	-	-	-
2f	5	-	17,07	4	68,28	-	-	54,61
	1	-	17,07	3	54,60	3,4	-	-

Legende:

Alt. = Alternative
KZ = Knüppelzahl
KG = Knüppelgewicht
SG = Stabgewicht
SZ = Stabzahl
KG_{eff} = zur Fertigung der Stabzahl effektiv erforderliches Knüppelgewicht
VS_F = dispositiver Fertigwalzverschnitt
VS = dispositiver Umblockverschnitt
KR = Knüppelrest
KGR = Knüppelgrenzwert

ternative 2e. Ein Vergleich mit der bei dieser Möglichkeit gültigen Knüppelrestgrenze (55,07) zeigt, daß diese durch den Knüppelrest verletzt wird. Daher kann die Aufteilungsmöglichkeit in dieser Form nicht realisiert werden.

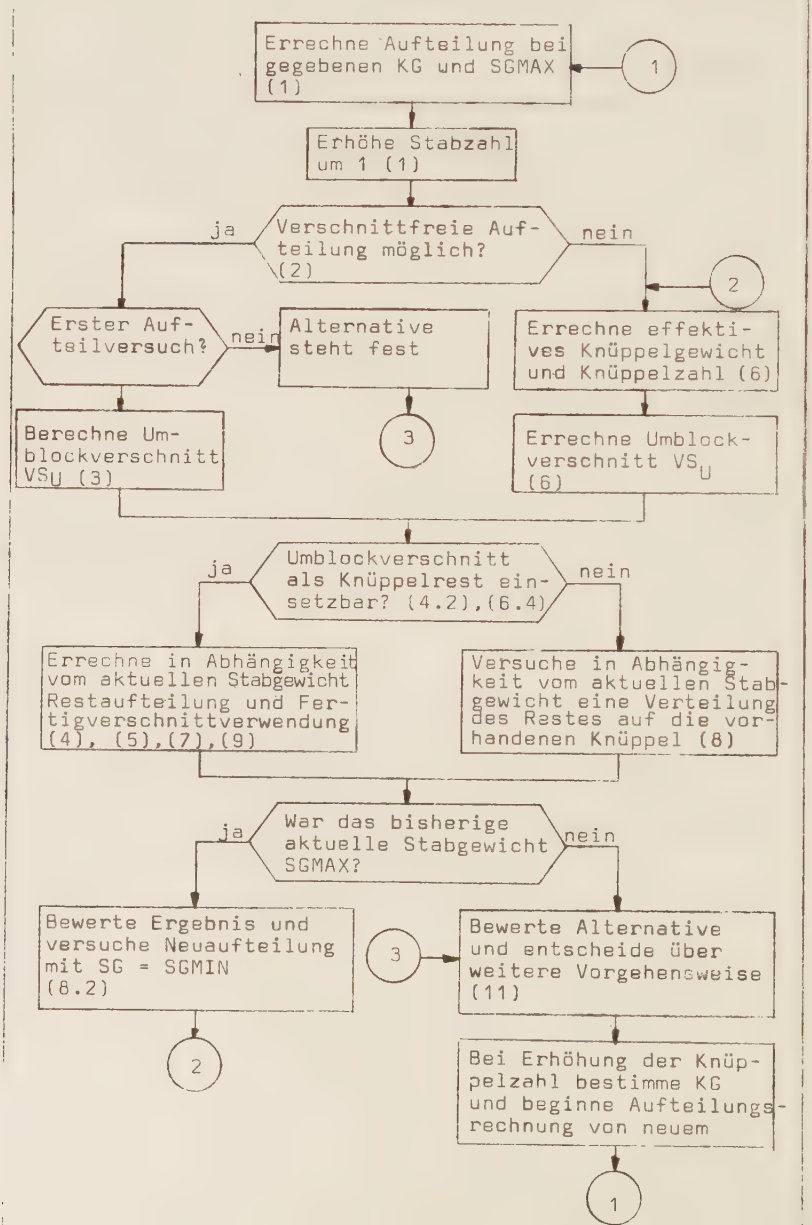
Eine, wenn auch näherungsweise Lösung dieses Problems ist derart denkbar, daß man nur den Differenzbetrag zwischen ursprünglichem Knüppelrestgewicht (56 kg) und Knüppelgrenzwert (54,4 kg) auf die Fertigstäbe aufteilt. Für unser Beispiel ergibt das je Fertigstab den geringen Betrag von 0,07 kg (1,6 : 23).

Die endgültige verschnittminimale Lösung ist in Alternative 2f skizziert. Es zeigt sich, daß ein Fertigwalzverschnitt von 3,4 kg - auch wenn die Aufteilung weitergeführt wird - unvermeidbar ist.

Das eben besprochene Beispiel zeigt deutlich, daß zur Erzielung eines günstigen Aufteilungsergebnisses verschiedene Versuche gestartet werden können, wobei letztlich die Entscheidung darüber, welche der Aufteilungsalternativen nun tatsächlich die beste ist, durch die Bewertung herbeigeführt wird.

Eine globale Übersicht über die verschiedenen Aufgaben bzw. Funktionsblöcke des Lösungsansatzes zeigt Abbildung 5.2.3.5.1./1. Die in Klammern angegebenen Nummern verweisen auf die detaillierte Darstellung und Beschreibung des Lösungsverfahrens im nächsten Abschnitt.

Abb. 5.2.3.5.1./1	Algorithmus zur Vormaterialaufteilung bei variablen Stablängen (Globalübersicht)



5.2.3.5.2. Algorithmus zur Vormaterialaufteilung (Detailbeschreibung)

(1.1) Analog zu Schritt (1) des Abschnittes 5.2.3.4.1. erfolgt zunächst das Laden des Kostenvergleichsfeldes VKF, die Bestimmung des aufteilbaren Halbzeugstrangs HZS, des gültigen Knüppelgewichtes KG und des Ausgangsstabgewichtes (SG = SGMAX). Beim ersten Aufteilungsversuch ist KG gleich dem maximal zulässigen Knüppelgewicht KGMAX. Im Rahmen der iterativen Knüppelzahlerhöhung erfolgt die Errechnung des jeweiligen Ausgangsgewichtes in Phase (11).

(1.2) Der Einsatz eines dieser Knüppel führt bei der Fertigwalzung (unter Berücksichtigung der aktuellen Verlustfaktoren) zur Walzader WM_K und zur Stabzahl SZ_K.

(1.3) Da im Regelfall nicht anzunehmen ist, daß bei dem zunächst festgelegten Stabgewicht eine ganzzahlige Aufteilung der Walzader möglich ist, wird die errechnete Stabzahl um 1 erhöht ($SZ2_K$) und das Stabgewicht SG2 bei einer Aufteilung der Walzader in die erhöhte Stabzahl ermittelt.

(2.1) Verletzt das neue Stabgewicht die Restriktion SGMIN, dann wird mit Phase (6) fortgefahren.

(3.1) Ist eine ganzzahlige Aufteilung der Knüppel in Stäbe möglich, dann werden die vorläufige Knüppelzahl KZ errechnet, die neuen Werte für das Stabgewicht SG2 und die entsprechende Stabzahl $SZ2_K$ als forthin gültige Variable übernommen und die gesamte aus dem Vormaterial erhältliche Stabzahl SZ_V ermittelt.

(3.2) Ein eventueller Umblockverschnitt wird sich bei dieser Situation nur beim ersten Aufteilungsversuch ergeben.

(3.3) Wurde die Ausgangsknüppelzahl bereits einmal erhöht, dann ist in diesem Fall mit einer ganzzahligen verschnittfreien Aufteilungsmöglichkeit zu rechnen und diese zu bewerten (11).

(4.1) Ist Umblockverschnitt vorhanden, dann wird die aktuelle Knüppelrestgrenze KGR festgelegt.

(4.2) Falls der Umblockverschnitt unter der Knüppelrestgrenze liegt, versucht man, diesen aufzuteilen und den Knüppeln zuzuschlagen (8).

(4.3) Im anderen Fall wird er zum Knüppelrest KR deklariert und

(4.4) die aus ihm erzielbare Walzader WM_{KR} und Stabzahl SZ_{KR} sowie die neue Vormaterialstabzahl errechnet und die Knüppelzahl um 1 erhöht.

(4.5) Als nächstes bestimmt man einen eventuell bei diesem Stabgewicht verbleibenden Fertigstabverschnitt VS_F.

(4.6) Ist dieser 0, dann liegt die Aufteilungsalternative bereits fest und es erfolgt die Bewertung (11).

(5.1) Andernfalls wird versucht, diesen verbleibenden Stabrest zu einem ganzen Stab zu ergänzen, indem die übrigen Stäbe um den Betrag DIFF reduziert werden.

(5.2) Unterschreitet das reduzierte Stabgewicht die zulässige Untergrenze SGMIN, verwirft man diesen zusätzlichen Aufteilungsversuch, um schließlich das Ergebnis mit VS_F zu bewerten (11).

(5.3) Ist die generelle Stabgewichtreduzierung zulässig, ermittelt man daraus die neue Walzader WM_K und das neue Knüppelgewicht KG.

(5.4) Im Anschluß daran erfolgt die Zwischenspeicherung des neuen Stabgewichts und der erhöhten Stabzahl. Der Fertigwalzverschnitt wird Null gesetzt und die Bewertung durchgeführt (11).

(6.1) Zeigt sich bei dem in Phase (1.3) und (2.1) durch Stabzahlerhöhung errechneten Stabgewicht SG2, daß dieses kleiner ist als das minimale Stabgewicht SGMIN, dann ist eine restlose Aufteilung des vorgegebenen Knüppelgewichtes nicht möglich. In diesem Fall wird zunächst - ähnlich wie bei der Aufteilung in fixe Stablängen - eine Aufteilung mit dem Stabgewicht SGMAX versucht. Zu diesem Zweck bestimmt man die aus der Walzader tatsächlich nutzbare Walzmenge WM_K und das dafür erforderliche Knüppelgewicht KG.

(6.2) Für den Fall, daß nach einigen iterativen Erhöhungen der Knüppelzahl das errechnete Knüppelgewicht kleiner ist als KGMIN, wird bei Phase (10) (Einsatz des minimalen Knüppelgewichtes) fortgefahren.

(6.3) Ansonsten erfolgt die Berechnung der Knüppel- und Stabzahl sowie des Umblockverschnitts VS_U.

(6.4) Ist VS_U kleiner als der Knüppelrestwert KGR, dann erfolgt in Phase (8) der Versuch, diesen durch Zuschlag abzubauen.

(7.1) Für den Fall, daß der Verschnitt einsetzbar ist, erfolgt die Berechnung der aus dem Knüppelrest erhältlichen Walzmenge und Stabzahl und eines möglicherweise anfallenden Fertigstabverschnitts. Ist dieser 0, kann die Alternative sofort bewertet werden (11).

(7.2) In Abhängigkeit vom gerade aktuellen Stabgewicht entscheidet sich jetzt die weitere Vorgehensweise. Bei SG = SGMAX wird versucht, VS_F nach Phase (5)

zu einem ganzen Stab zu ergänzen. Das Ergebnis wird bewertet und eine neue Aufteilung bei gegebenem Knüppelgewicht (zwischengespeichertes KG2) aber minimalem Stabgewicht versucht. Wurde hingegen die Aufteilung bereits mit SGMIN durchgeführt, dann wird nach Phase (9) verzweigt, dort ebenfalls bewertet und u. U. durch Knüppelzahlerhöhung eine neue Aufteilungsrechnung veranlaßt.

(8.1) In dieser Phase überprüft man nach der in den Schritten (13), (14), (15) und (16) beschriebenen Vorgehensweise des Abschnittes 5.2.3.4.1., ob ein anfallender Umblockverschnitt auf die bereits ermittelte Knüppelzahl in Form von ganzen Stäben umgelegt und dadurch der Verschnitt reduziert werden kann.

(8.2) Ist die aktuelle Stablänge kleiner als SGMAX, dann wird der Versuch unternommen, einen eventuell noch verbleibenden Fertigstabrest VS_F nach der in (5) beschriebenen Vorgehensweise auf die gesamte Stabzahl aufzuteilen und damit den Gesamtverschnitt zu minimieren.

Im Anschluß daran erfolgt die Bewertung mit eventueller Erhöhung der Knüppelzahl (11), oder, falls als Stabgewicht in der gegenwärtigen Alternative nur SGMAX betrachtet wurde, die Bewertung mit anschließender Aufteilung der gleichen Knüppel, wobei jedoch das Stabgewicht den Ausgangswert SGMIN erhält (6).

(9.1) Komplizierter liegt der Fall, wenn die Knüppelrestaufteilung bei minimalem Stabgewicht durchgeführt wird (vgl. dazu das numerische Beispiel in Tabelle 5.2.3.5./1, Alternative 2e und 2f). Hier ist es nicht möglich, einen anfallenden Stabrest VS_F auf

einen vollen Stab zu ergänzen, weil dadurch bei allen übrigen Stäben der Wert SGMIN unterschritten würde. Es muß vielmehr in einer derartigen Situation versucht werden, diesen Fertigstabverschnitt auf die Gesamtzahl der Stäbe zu verteilen. Dabei ist besonders darauf zu achten, daß der Knüppelgrenzwert KGR nicht unterschritten wird.

Zu diesem Zweck sind die dem Knüppelgrenzwert entsprechende Walzmenge $\overline{KGR}$ und die für die Verwendung des Knüpprelrestes unbedingt erforderliche Walzmenge $\overline{VM}_{KR}$ (unter Berücksichtigung des anfallenden Endenschrotts) zu bestimmen.

(9.2) Ist die Walzmenge $\overline{VM}_{KR}$ größer als $\overline{KGR}$, dann kann die gesamte Verschnittmenge VS_F aufgeteilt werden. Andernfalls benötigt man einen bestimmten Teil zur Wahrung des Knüppelgrenzwertes $\overline{KGR}$ und verteilt nur den darüber hinausgehenden Teil.

(9.3) Der mengenmäßige Zuschlagsteil ZUS je Stab errechnet sich durch die Division des Differenzbetrages DIFF durch SZ_V.

(9.4) Zum Abschluß der Berechnung dieser Alternative sind noch die aktuellen Werte für das Stabgewicht SG und das Knüppelgewicht KG zu bestimmen und dieses Ergebnis zu bewerten (11).

(10.1) Für den Fall, daß bei der iterativen Knüppelzahlerhöhung das aufzuteilende Knüppelgewicht immer kleiner wird, kann u. U. der Fall eintreten, daß die nutzbare Walzmenge eines Knüppels und damit indirekt das einzusetzende Knüppelgewicht den Grenzwert KGMIN unterschreitet.

In diesem Fall ist die Aufteilungsrechnung mit dem Knüppelgewicht KGMIN und einem zu erwartenden Umblock- und Fertigwalzverschnitt durchzuführen. Siehe dazu die Ausführungen der Phase (17) des Abschnittes 5.2.3.4.1.

(11.1) Im Zuge der Bewertung einer Aufteilungsalternative, die nach der Ermittlung der zu bewertenden Mengendaten erfolgt, werden zunächst der Gesamtverschnitt einer Alternative GVS_V sowie die aus einem Vormaterial tatsächlich nutzbare Walzmenge WM_V errechnet. Im Anschluß daran erfolgt die Bewertung mit dem Kostenvergleich und die eventuelle Zwischenspeicherung der eben errechneten Alternative (vgl. dazu Abschnitt 5.2.3.4.2.).

(11.2) Zum Schluß prüft man anhand der in Abschnitt 5.2.3.4.1., Phase (18), (19) und (20) definierten Abbruchkriterien, ob die Aufteilungsrechnung noch fortgeführt werden soll. Wenn ja, wird mit erhöhter Knüppelzahl und neuem Knüppelgewicht zu Schritt (1.1) verzweigt und dort wieder eine neue Aufteilung beginnend mit SGMAX versucht.

Ist eine weitere Aufteilung nicht mehr durchzuführen, dann stehen die errechneten Mengen- bzw. Aufteilungs- und Kostendaten für die Zuteilungsrechnung zur Verfügung (Abschnitt 5.2.4.).

Abb. 5.2.3.5.2./1	Algorithmus zur Vormaterialaufteilung bei variablen Stabgewichten

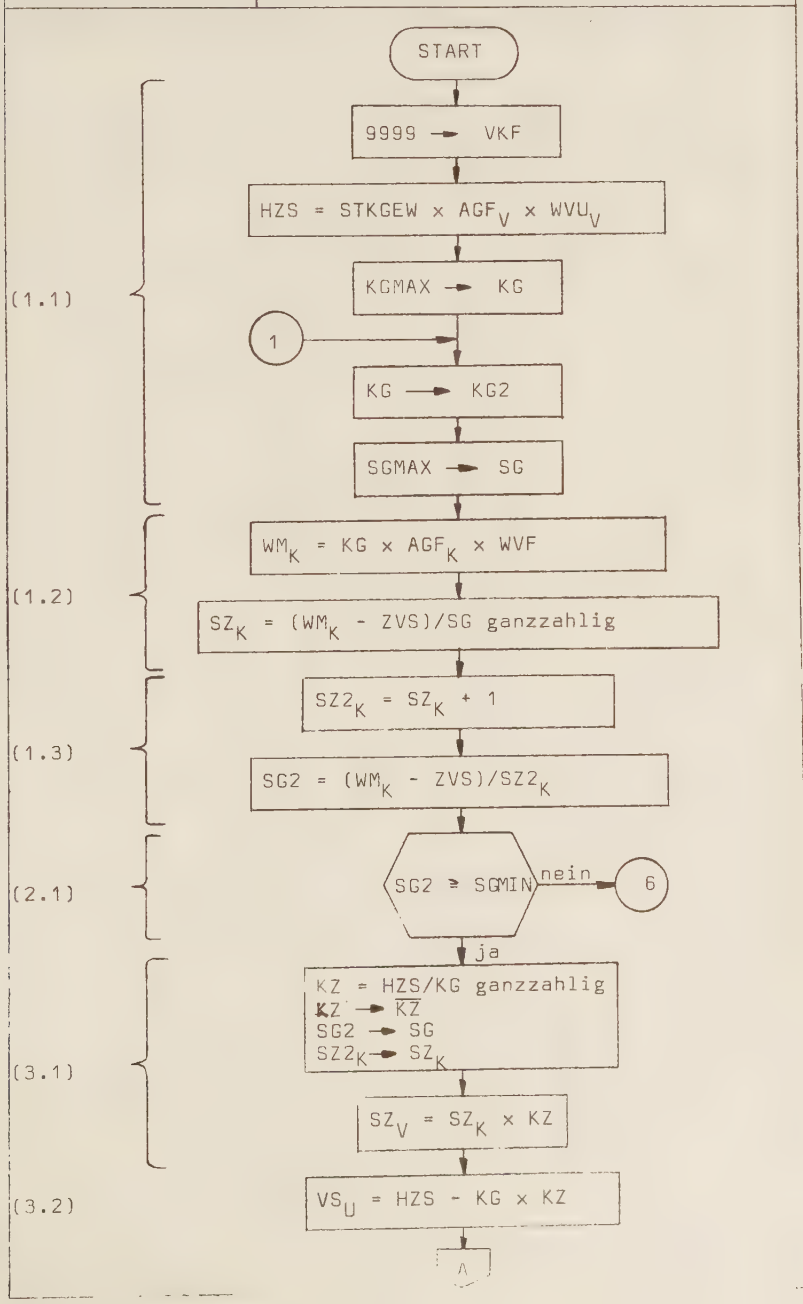


Abb. 5.2.3.5.2./1 Algorithmus zur Vormaterialaufteilung bei variablen Stabgewichten - Fortsetzung

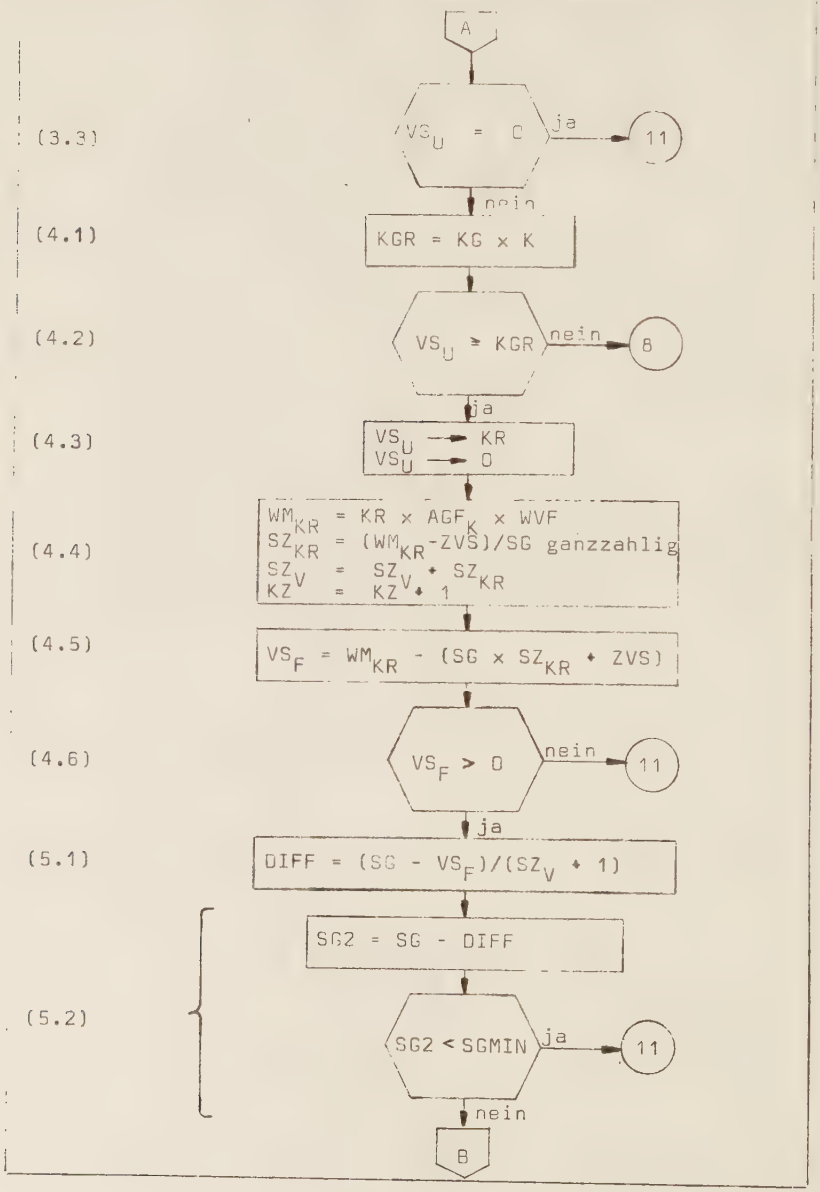


Abb. 5.2.3.5.2./1	Algorithmus zur Vormaterialaufteilung bei variablen Stabgewichten - Fortsetzung

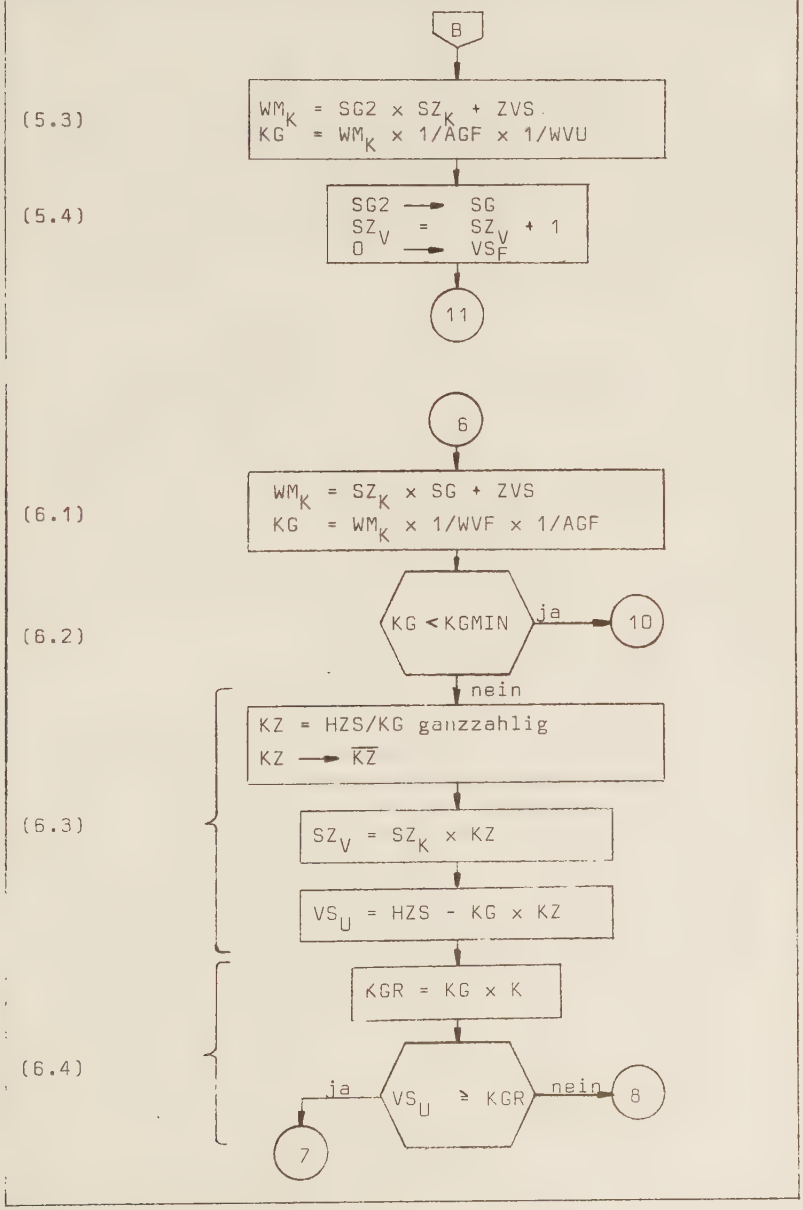


Abb. 5.2.3.5.2./1	Algorithmus zur Vormaterialaufteilung bei variablen Stabgewichten - Fortsetzung

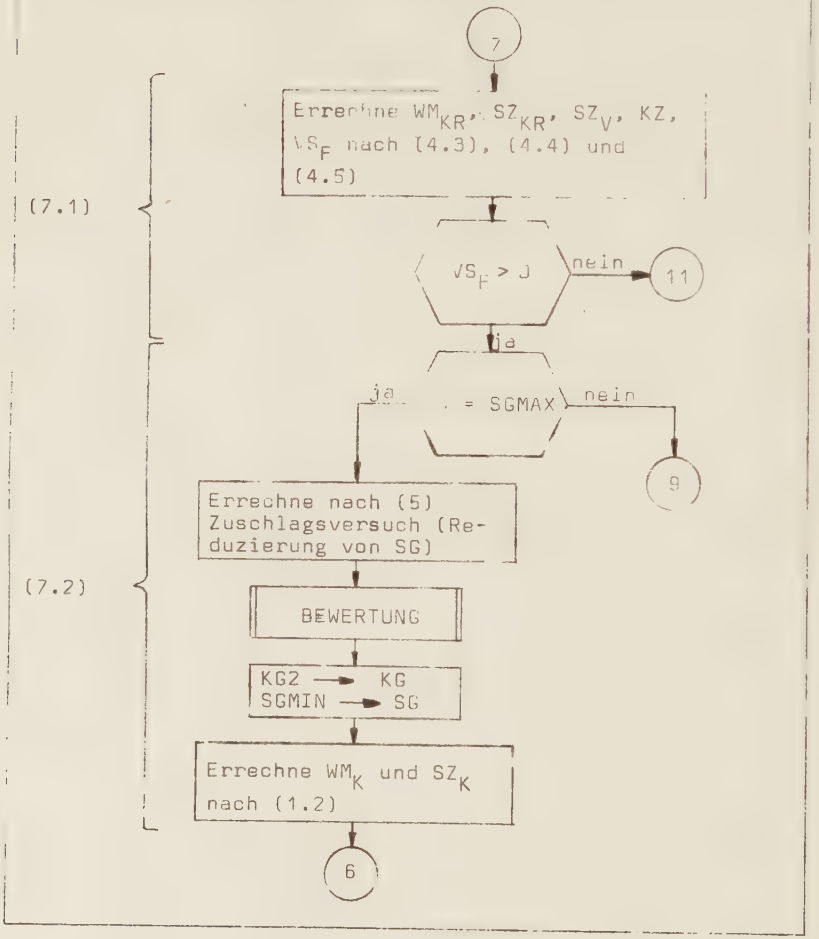


Abb. 5.2.3.5.2./1 Algorithmus zur Vormaterialaufteilung bei variablen Stabgewichten - Fortsetzung

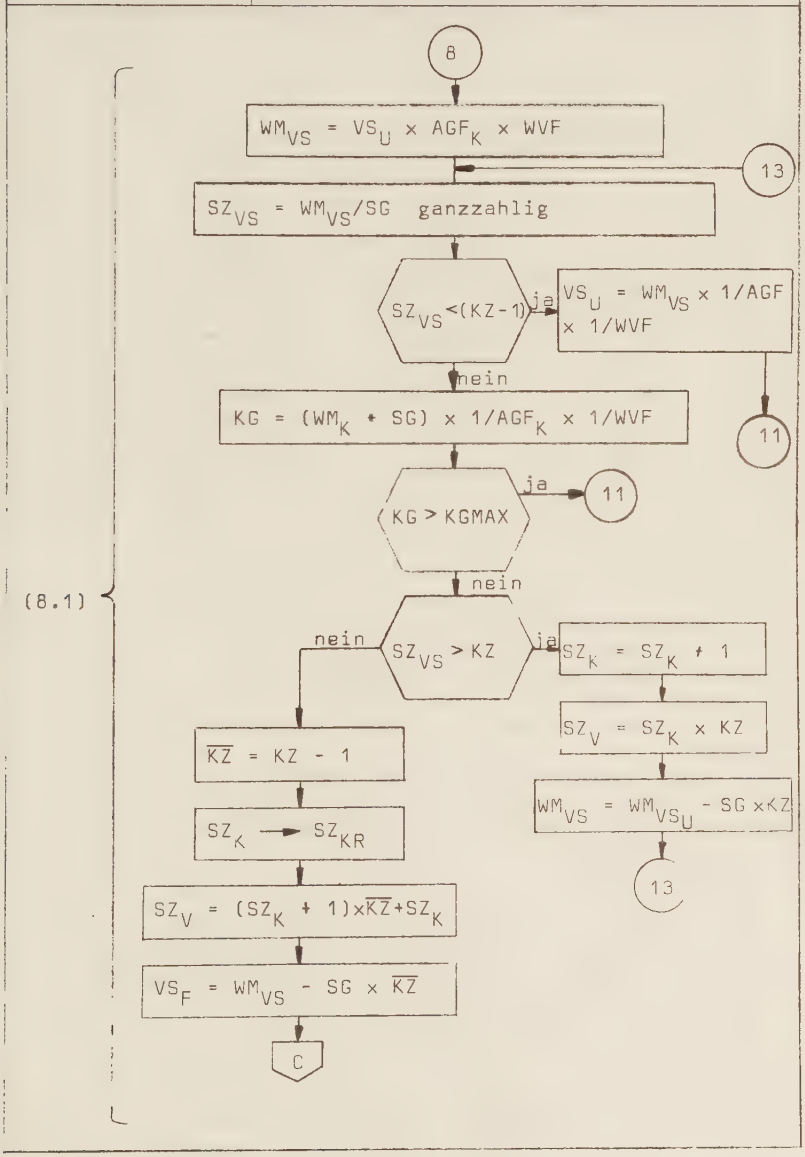


Abb. 5.2.3.5.2./1	Algorithmus zur Vormaterialaufteilung bei variablen Stabgewichten - Fortsetzung

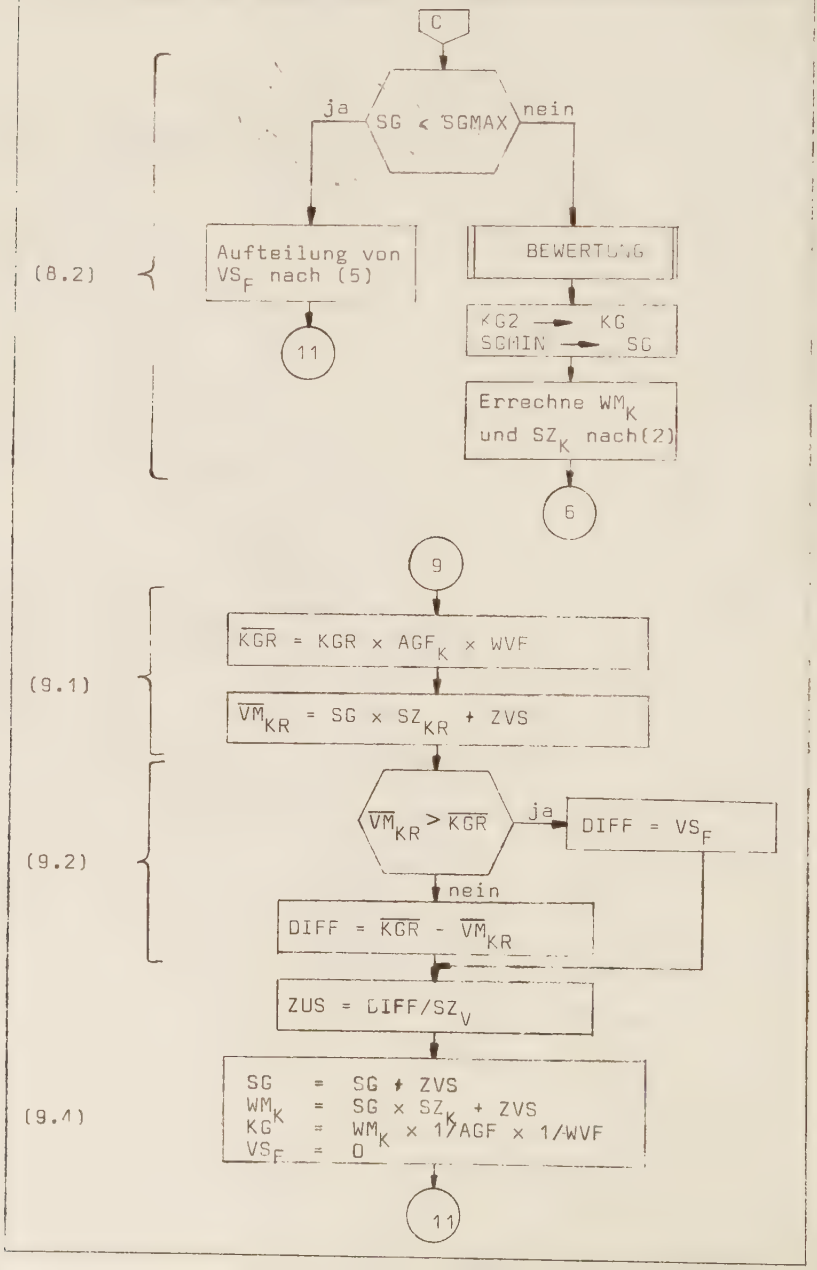


Abb. 5.2.3.5.2./1	Algorithmus zur Vormaterialaufteilung bei variablen Stabgewichten - Fortsetzung

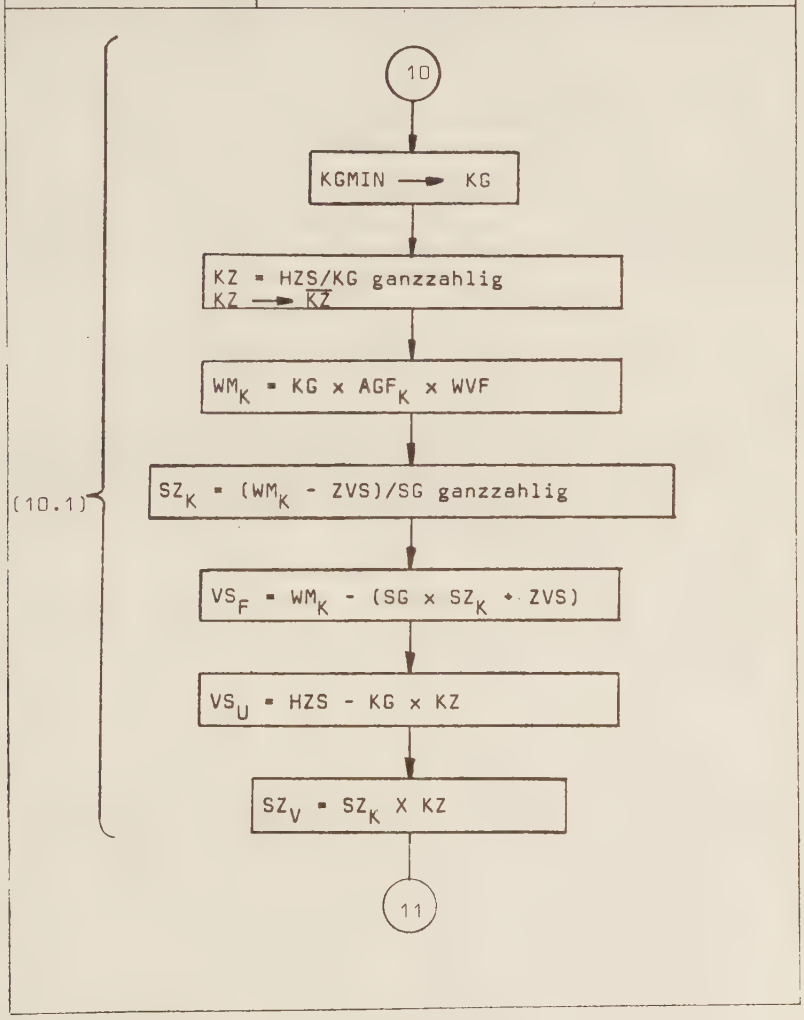
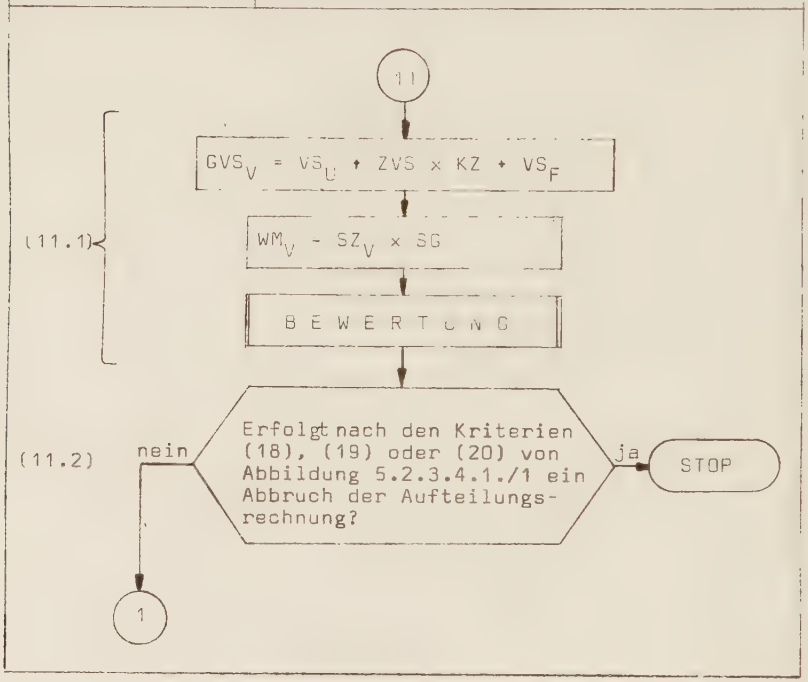


Abb. 5.2.3.5.2./1 Algorithmus zur Vormaterialaufteilung bei variablen Stabgewichten-Fortsetzung



Wir wollen nun den Ablauf der Vormaterialaufteilung anhand eines numerischen, auf Praxisdaten beruhenden Beispiels verkürzt nachvollziehen. Dabei gelten die Auftragsdaten der Abbildung 5.2.1.3./1, die Walzparameter- und Arbeitsgangdaten der Abbildung 5.2.1.3./2 sowie die daraus abgeleiteten Ausgangswerte der Abbildung 5.2.1.3./3.

Die gefundene Vormaterialposition, für die zunächst die Aufteilungsrechnung und in Abschnitt 5.2.4.4.2. die Aufteilungsrechnung skizziert wird, bestehe aus drei Vorblöcken 4-kant 240 und einem Gesamtgewicht GPOS von 3.285 kg.

Über die Vormaterialabmessung und in der Folge deren Dimensionsklasse werden aus der Umblockdatei der Walzverlustfaktor $WVU_{V(240,80)}$ mit 0,96 und der Walzkostensatz $WKSU_V$ = 0,02 und aus der Arbeitsgangdatei die Parameter für die Bearbeitung des Vormaterials AGF_V = 0,97 und $AGKS_V$ = 0,02 eingelesen. Für die Ermittlung der Knüppelrestgrenze gelte der Systemparameter K = 0,8.

Als erstes wird das aufzuteilende Stückgewicht STKGEW = 3.285/3 = 1.095 kg errechnet; dann nach den Formeln der Abbildung 5.2.3.2./1 die dafür einzusetzenden Reproduktionskosten.

Betragen die Walzparameter für den fiktiven Umblockvorgang Rohblock-Vormaterial: $WVU_{(R,240)}$ = 0,97 und $WKSU_{(R,240)}$ = 0,03, dann führen diese zu einer erforderlichen Erschmelzungsmenge von 1.128 kg, Umblockkosten UK_R von DM 33,-- und Reproduktionskosten RK_V von DM 1.161,84.

Die Aufteilungsrechnung ergibt bei variablen Stabgewichten (Abbildung 5.2.3.5.2./1) nach der ersten Iteration, in der die Phasen (1.1), (1.2), (1.3), (2.1), (3.1), (3.2), (4.1), (4.2) und (8.1) durchlaufen werden, folgendes Mengengerüst:

Knüppelzahl KZ = 10, Knüppelgewicht KG = 96, Stabzahl je Knüppel SZ_K = 5, Stabgewicht SG = 17,45, Umblockverschnitt VS_U = 59,66, Fertigwalzverschnitt VS_F = 0, Gesamtverschnitt GVS_V = 89,66, nutzbare Walzmenge WM_V = 872,50.

Die Bewertung führt nach Abschnitt 5.2.3.4.2. zu den gesamten Aufteilungskosten AUKO von 1.375,88; bezogen auf 100 kg des Fertigmaterials ergibt sich ein Vergleichskostenwert VKO von 157,69.

Dieser Wert ist zunächst kleiner als der im Vergleichsfeld VKF (= 9.999). Daher wird diese Aufteilungsmöglichkeit als bisher günstigste zwischengespeichert.

Die Prüfung der weiteren Vorgehensweise nach (11.2) bzw. den Phasen (18), (19) und (20) des Abschnittes 5.2.3.4.1. führt aufgrund des hohen Verschnittes zur Erhöhung der Knüppelzahl KZ auf 11 und zum zweiten Durchlauf. Dabei beträgt das aktuelle Knüppelgewicht zunächst 92,69 kg.

Über die Rechenschritte (1.1), (1.2), (1.3), (2.1), (3.1), (3.2) und (11.1) wird folgendes Mengengerüst für die nächste Aufteilungsalternative festgelegt:

KZ = 11; KG = 92,69; SZ_K = 5; SG = 16,82; VS_U = 0; VS_F = 0; GVS_V = 33,; WM_V = 925,10.

Aus der Bewertung resultieren dann für die einzelnen entscheidungsrelevanten Kostenkomponenten folgende Werte:

Reproduktionskosten RK_V = 1.161,84; Arbeitsgangkosten für das Vormaterial AGK_V = 21,90; Umblockkosten = 53,11; Aufteilkosten AK_V = 5,-; Arbeitsgangkosten für Knüppel AGK_K = 50,98; Fertigwalzkosten FWK = 81,57; Leerzeitkosten LZK = 60,-; Schneidekosten = 19,80 und Schrotterlös SER = 23,10.

Die Summe der Aufteilkosten beträgt 1.431,10, ist also höher als bei der vorher errechneten Aufteilung, führt aber - bedingt durch die höhere Walzmenge - nur zu einem kleineren Wert VKO von 154,69.

Der Vergleich mit VKF (= 157,69) bewirkt, daß nun diese Aufteilungsalternative als günstigste zwischengespeichert wird.

Aufgrund der Tatsache, daß der dispositive Verschnitt Null ist, wird kein weiterer Aufteilungsversuch mehr gestartet. Das erzielte Ergebnis dient später als Input für die Zuteilungsrechnung.

5.2.3.6. Überlegungen zum Einsatz mathematischer Optimierungsverfahren zur Lösung des Aufteilungsproblems

Verschnitt-, Aufteilungs- und Bewertungsprobleme können an und für sich mit Hilfe von Verfahren des Operations Research gelöst werden. Aufgrund der großen Interdependenz der verschiedenen Variablen ist es jedoch nicht leicht, für das spezielle Aufteilungsproblem einen einfach zu lösenden mathematischen Ansatz zu definieren.

Abbildung 5.2.3.6./1 zeigt die exakte mathematische Formulierung der in den Abschnitten 5.2.3.4.1., 5.2.3.4.2. und 5.2.3.5.1. beschriebenen Heuristik als Ansatz der nichtlinearen Programmierung.

Aus diesem Ansatz ist sehr deutlich die Vielzahl der Entscheidungsvariablen zu ersehen. So sind z. B. in den Ungleichungen (1) bis (3) - abgesehen von den verschiedenen Materialverlustfaktoren - nur das Vormaterialgewicht STKGEW und der anfallende Zwangsverschnitt je Knüppel ZVS bekannt, während alle anderen Variablen bestimmt werden müssen.

Ungleichung (1) bezieht sich auf die Aufteilung des Halbzeugstranges. Dabei sind zur Lösung des Problems eventuell anfallenden Umblockverschnitts bzw. eines einsetzbaren Knüppelrestes je Vormaterial zwei Variable VS_U und KR angesetzt, die im Ergebnis entweder alternativ oder für den Fall der ganzzahligen verschnittfreien Aufteilung überhaupt nicht vorkommen dürfen.

Ungleichung (2) betrifft die Aufteilung eines Knüppels in eine bestimmte Stabzahl mit einem bestimmten Stabgewicht, und zwar unter Berücksichtigung des anfallenden Endenschrotts. Ungleichung (3) beinhaltet die Aufteilung eines eventuell vorhandenen Knüppelrestes.

Die Restriktionen (4) bis (10) sind entsprechend den Ausführungen vergangener Abschnitte dargestellt.

Abb. 5.2.3.6./1	Ein Ansatz der nichtlinearen Programmierung zur Lösung des Aufteilungsproblems

Restriktionen:

(1) $KZ \times KG + VS_U + KR \leq STKGEW \times AGF_V \times WVU_V$ (=HZS)

(2) $SG \times SZ_K + ZVS \leq KG \times AGF_K \times WVF$ (=WM_K)

(3) $SG \times SZ_{KR} + ZVS + VS_F \leq KR \times AGF_K \times WVF$ (=WM_{KR})

(4) $KGR = KG \times 0{,}8$

(5) $KR \geq KGR$

(6) $KG \leq KGMAX$

(7) $KG \geq KGMIN$

(8) $SG \leq SGMAX$

(9) $SG \geq SGMIN$

(10) $KZ =$ ganzzahlig

(11) $VS_U - KGR \times (1-\delta) \leq 0$

(12) $KR - KGR + KGR \times (1-\delta) \geq 0$

(13) $VS_U \times (1-\gamma) = 0$

(14) $0 \leq \delta, \gamma \leq 1$, δ, γ ganzzahlig

Zielfunktion des Ansatzes:

$$\{STKGEW \times (RK + AGKS_V) + STKGEW \times AGF_V \times WKSU_V + [(KZ-1) + \gamma + \delta] \times AKS + (KG \times KZ + KR) \times AGKS_K + (KG \times KZ + KR) \times AGF_K \times WKSF + [(KZ-1) + \delta] \times LZ \times LZKS - [ZVS \times (KZ + \delta) + VS_U + VS_F] \times SE\} \times [(SZ_K \times KZ + SZ_{KR}) \times SG]^{-1} \rightarrow Min.$$

Die Berücksichtigung von Umblockverschnitt bzw. einem einsetzbaren Knüppelrest wird durch die Nebenbedingungen (11) bis (14) sowie die Bewertung dieser Variablen bzw. deren Existenz (durch γ und δ) in der Zielfunktion gewährleistet. Für den Fall z. B., daß $\delta = 1$ gesetzt wird, führen die Restriktionen (11) und (12) dazu, daß VS_U bzw. γ Null wird und der Knüppelrest KR größer ist als der Grenzwert KGR.

In dieser Situation geht der Knüppelrest in die Bewertung der Aufteil-, Arbeitsgang-, Walz- und Leerzeitkosten bzw. des Schrotterlöses entweder mit seiner absoluten Menge KR oder als Null-Eins-Variable mit $\delta = 1$ ein.

Die Zielfunktion des Ansatzes minimiert die je ME des Fertigproduktes anfallenden Kosten und ist gewissermaßen nur eine andere Darstellung bzw. leichte Umformulierung der in Abschnitt 5.2.3.4.2. beschriebenen Bewertungsrechnung.

Zur Lösung des aufgezeigten Ansatzes ist zu bemerken, daß sich diese in der Praxis mit den gegenwärtig zur Verfügung stehenden Mitteln - vor allem auch unter dem Aspekt, daß das Gesamtproblem im Dialog abgewickelt werden soll - nicht mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand realisieren läßt.

5.2.4. Ermittlung der Zuteilungsalternative

5.2.4.1. Globalbeschreibung

Die Aufgabe dieses Moduls besteht in der Errechnung einer realisierbaren Zuteilungsalternative, die die Mengenanforderungen des Kundenauftrages erfüllt. Der hier beschriebene Lösungsansatz gilt nur für die Bestimmung solcher Alternativen, die aus einer Vormaterialposition gedeckt werden können. Der Fall, daß mehrere unterschiedliche Bestandspositionen zur Auftragserfüllung herangezogen werden, wird in Abschnitt 5.2.5. diskutiert.

Ähnlich wie bei der Vormaterialaufteilung lassen sich die Funktionen dieses Moduls in eine Mengen- und in eine Bewertungsrechnung gliedern. Dabei geht es in keiner dieser beiden Phasen um eine Optimierung im streng mathematischen Sinne.

Vielmehr besteht die Funktion der Mengenrechnung darin, festzustellen, wieviele Vormaterialien für einen Auftrag einzusetzen sind, welcher Verschnitt anfällt, wie groß die tatsächliche Auftragsdeckung ist, ob Restknüppel anfallen (weil ein Vormaterial nicht vollständig verwendet werden kann) usw.

In der Bewertungsrechnung werden die in der Aufteilungsrechnung des vorhergehenden Abschnittes und in der Zuteilungsrechnung dieses Abschnittes ermittelten Mengendaten und einige andere entscheidungsrelevante Sachverhalte[1], wie z. B. Lagerdauer, Transportaufwand etc., in ihrer Gesamtheit bewertet und in eine vergleichbare Bewertungszahl umgerechnet.

Als Endergebnis stehen Informationen zur Verfügung, die einerseits bei der Realisierung einer Zuteilungsalternative dem Walzwerk als Arbeitsanweisung (Umblock- und Schneidehinweise) dienen und andererseits die Entscheidungsfindung während des Dispositionsprozesses unterstützen. So werden z. B. über Bildschirm neben der Bewertungszahl Verschnitt- und Restanfall sowie die zu erwartende Auftragsdeckung ausgegeben.

5.2.4.2. Datenbereitstellung

Durch die in der Verarbeitung zeitlich vorgelagerten Moduln sind für die durchzuführenden Berechnungen bereits

- die Auftragsdaten,
- die Vormaterialdaten einschließlich eines Lagerortschlüssels,
- die zwischengespeicherten Mengen- und Kostendaten sowie die optimale Vormaterialaufteilung

vorhanden.

Darüber hinaus wird für Bewertungszwecke aus der Verweilzeitdatei der Zeitpunkt der wahrscheinlichen Wiederverwendung eines Vormaterials TWV_V eingelesen. Zur Bestimmung der Lagerkosten ist der Lagerkostensatz LKS als Systemparameter gespeichert.

---

[1] Vgl. dazu auch die Analyse der entscheidungsrelevanten Komponenten in Abschnitt 4.3.2.

Für die Ermittlung der Transportkosten existiert eine eigene Tabelle mit einem Transportkostensatz TKS je ME und Lager.

Werden nicht alle Knüppel eines Vormaterials zur Auftragsdeckung herangezogen, sondern fällt ein Teil als Rest an, so werden aus der Verweilzeit- und Rücklieferdatei die für diese Knüppeldimension gültige Rückliefergrenze RG und der voraussichtliche Wiederverwendungszeitpunkt des Rückliefermaterials TWV_K in das System eingelesen. Außerdem sind in diesem Fall für die Bestimmung der Reproduktionskosten des Rückliefermaterials zur Berücksichtigung eines eventuell notwendigen Zusatzarbeitsganges am Vormaterial (= Rohblock) aus der Arbeitsgangdatei der Arbeitsgangfaktor AGF_R und der Arbeitsgangkostensatz $AGKS_R$ dem System zur Verfügung zu stellen. Entsprechend müssen auch die beim fiktiven Transformationsprozeß Rohblock - Rückliefer(Knüppel)material relevanten Umblockparameter, wie: Umblock-Walzverlustfaktor $WVU_{R,K}$ und Umblock-Walzkostensatz $WKSU_{R,K}$ aus der Umblockdatei eingelesen werden.

5.2.4.3. Mengenrechnung[1)]

Das Prinzip der Mengenrechnung läßt sich in Anlehnung an die formelmäßige Darstellung der Abbildung 5.2.4.3./1 verbal wie folgt beschreiben:

(1) Zunächst wird festgestellt, wieviele Vormaterialien VZ vollständig für die Auftragsdeckung heranzuziehen sind, wobei als Zielmenge das maximale Bestellgewicht WMMAX dient. Zeigt sich, daß die aus den VZ benötigten Vormaterialien erzielbare Walzmenge WM_Z größer ist als die Untergrenze des Bestellgewichtes WMMIN, dann ist der Zuordnungsprozeß bereits abgeschlossen. Die ganzzahlige Zuteilung der VZ Vormaterialien führt zu einer

1) Zum besseren Verständnis der folgenden Ausführungen werden zwei neue Indizes Z und RL eingeführt. Die mit Z indizierten Variablen enthalten Werte, die sich auf die Zuteilungsalternative beziehen, die mit RL indizierten solche, die Rücklieferungen ans Lager betreffen.

Auftragsdeckung, die im Bestellgewichtstoleranzbereich liegt.

(2) Reicht die Walzmenge WM_Z zur Deckung des Auftrages nicht aus, dann wird die zur Erzielung des minimalen Bestellgewichtes noch fehlende Walzmenge FEHLM errechnet. Ist diese größer als ein bestimmter Prozentsatz der aus einem Vormaterial erhältlichen Walzmenge, dann wird auf jeden Fall ein weiteres Vormaterial in die Zuteilungsentscheidung miteinbezogen. Andernfalls prüft man, ob eventuell eine Unterlieferung des Auftrages akzeptiert werden kann. Voraussetzung dafür ist, daß die Walzmenge einen bestimmten Prozentsatz des Bestellgewichtes nicht unterschreitet. Das Verhalten in dieser Situation wird über die Parameter K1 ($0 \leq K1 \leq 0{,}5$) und K2 ($0{,}9 \leq K2 \leq 1$) gesteuert und ermöglicht der Unternehmensleitung eine Einflußnahme darauf, ob z. B. tendenziell durch Inkaufnahme von Liefergewichtsunterschreitungen Rücklieferungen von Restknüppeln und damit anfallende Zusatzkosten reduziert werden sollen. Andererseits wird z. B. durch Setzen des Parameters K2 auf 1 das Bestellgewicht auf jeden Fall erfüllt, unabhängig davon, wieviel Restmaterial anfällt.

Für den Fall einer annehmbaren Bestellgewichtsunterschreitung ist auch hier die Zuordnung festgelegt.

(3) In der Folge werden aus den vorhandenen Mengendaten weitere Informationen, die u. U. die Entscheidungsfindung unterstützen, errechnet; so z. B. der dispositive Gesamtverschnitt $GVSD_Z$, der den Gesamtverschnitt ohne den anfallenden Zwangsverschnitt umfaßt, ein Verschnittprozentsatz VSPROZ, bezogen auf die gesamte Ausbringungsmenge, und die effektiv zu erwartende Auftragsdeckung AD in Prozent. Der dispositive Gesamtverschnitt kann z. B. bei der Gegenüberstellung zweier gleichwer-

tiger Zuteilungsalternativen dazu führen, daß sich der Disponent für jene Zuteilungsmöglichkeit entscheidet, bei der dieser Verschnitt geringer ist.

Für das Walzwerk werden die notwendigen Umblock- und Fertigwalzdaten, sofern diese in den vorhergehenden Phasen nicht schon festgelegt wurden, ermittelt. Explizit lassen sich hier nennen: Die Anzahl der einzusetzenden Vormaterialien sowie Anzahl, Querschnitt, Länge und Gewicht der auszuwalzenden Knüppel.

Das feste oder errechnete Stabgewicht bzw. die entsprechende Stablänge LFS dient nach der Fertigwalzung den Scherenleuten zur Orientierung, wie eine Fertigwalzader zu trennen ist.

(4) Ist zur Auftragsdeckung neben der ganzzahligen Verwendung einer bestimmten Anzahl von Vormaterialien zusätzlich noch ein weiteres, nur zum Teil bei der Fertigwalzung einzusetzendes (VZ1) notwendig, dann strebt man an, von diesem möglichst viel für den Auftrag zu verwenden. Es wird eine neue Fehlmenge, die sich diesmal auf die maximale Gesamtwalzmenge WMMAX bezieht, errechnet. Die Division durch die Walzmenge eines Knüppels führt zur Knüppelzahl $KZ1_Z$, die aus dem zusätzlichen Vormaterial dem Auftrag noch zuzuordnen ist. Die daraus resultierende Walzmenge wird zur bisherigen Vormaterial-Gesamtwalzmenge WM_Z addiert und dadurch die Fehlmenge wesentlich reduziert.

(5) Stellt sich bei einem neuerlichen Vergleich der Walzmenge WM_Z mit dem Bestellgewicht WMMIN heraus, daß letzteres immer noch nicht erreicht ist, dann bedeutet dies, daß eine Zuteilungsalternative ohne Fertigwalzverschnitt nicht möglich ist. Der Fall tritt dann ein, wenn der Gewichtstoleranzbereich WMMAX - WMMIN kleiner ist als die aus einem Knüppel erzielbare Walzmenge WM_K. Dieses Problem läßt sich lösen, wenn man die noch verbleibende Fehlmenge FEHLM ermittelt und durch die Zuordnung eines weiteren Knüppels

(KZ1 + 1) deckt. Weil die Walzmenge WM_K größer ist als die Fehlmenge, fällt der Fertigwalzverschnitt $VS_{F,Z}$ an; die Auftragsmenge ist jedoch vollständig erfüllt.

Die Gesamtknüppelzahl wird um die Zusatz-Knüppelzahl KZ1 erhöht. Damit sind Vormaterial- und Knüppelzahl der Entscheidungsalternative festgelegt.

(6) Als nächstes ist im Dispositionsprozeß die Entscheidung zu treffen, was mit den beim Zwischenwalzvorgang anfallenden Restknüppeln (KZ_V - KZ1) geschehen soll bzw. wie diese zu bewerten sind.

Dazu wird aus der Rückliefergrenze RG das Rückliefergrenzgewicht RGG errechnet. Ist dieses größer als das gültige Knüppelgewicht, sind alle Restknüppel zu verschrotten und rechnerisch einschließlich eines eventuell vorhandenen Knüppelrestes bzw. Umblockverschnittes dem Gesamtverschnitt zuzurechnen. Dieser umfaßt außerdem noch den je VM anfallenden Verschnitt GVS_V aus der Aufteilungsrechnung, den Zwangsverschnitt der Zusatz-Knüppel und einen eventuell entstehenden Fertigwalzverschnitt aus dem zusätzlich einzusetzenden Vormaterial.

(7) Werden die Restknüppel als in Zukunft wieder einsetzbar klassifiziert, dann bestimmt man den Gesamtverschnitt ohne Restknüppel sowie das gesamte Rückliefergewicht RLG. Diese Vorgehensweise verlangt zusätzlich eine Prüfung, ob ein eventuell vorhandener Knüppelrest aus der Vormaterialaufteilung als Rückliefermaterial oder Verschnitt zu werten ist.

(8) Zum Abschluß der Mengenrechnung werden auch bei Rest- bzw. Rückliefermaterialanfall die bereits in (3) genannten Arbeits- und Beurteilungsinformationen aufbereitet.

Abb. 5.2.4.3./1 Logischer Ablauf der Zuteilungs-Mengenrechnung

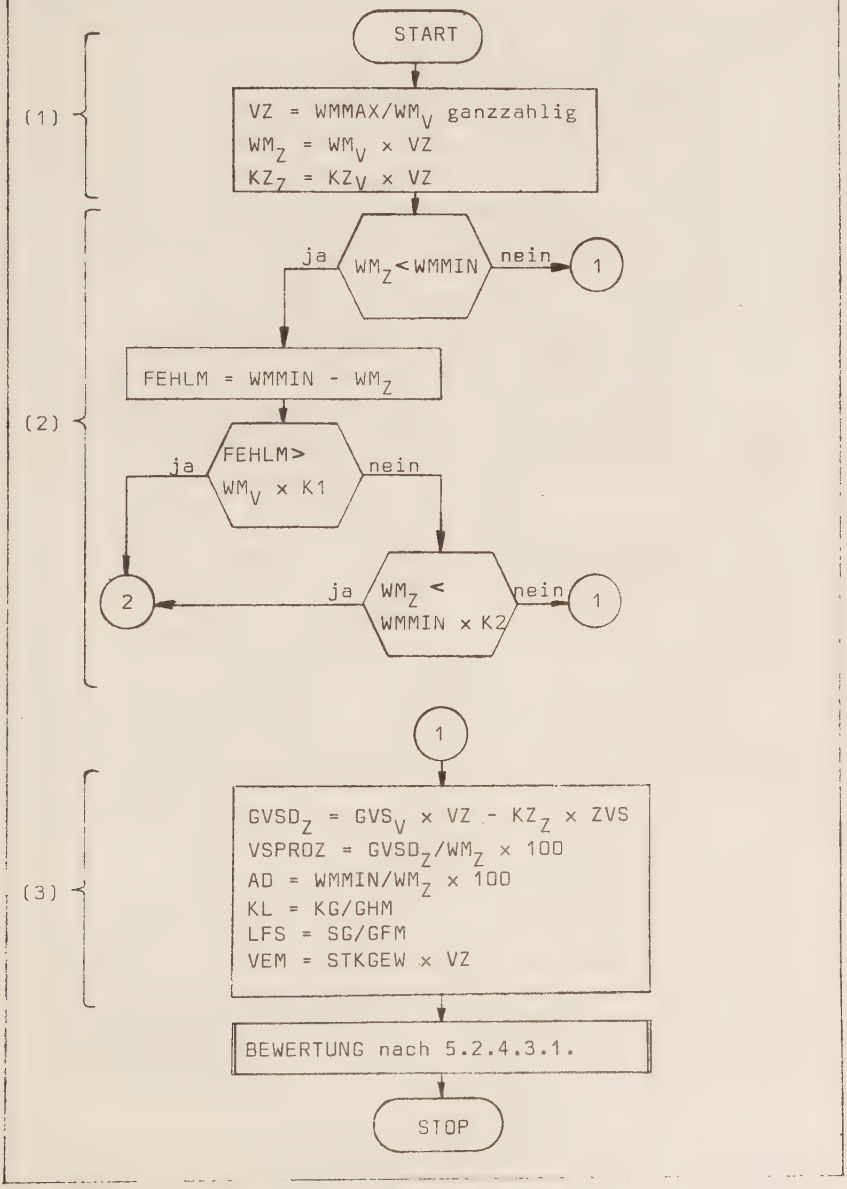


Abb. 5.2.4.3./1 Logischer Ablauf der Zuteilungs-Mengenrechnung - Fortsetzung

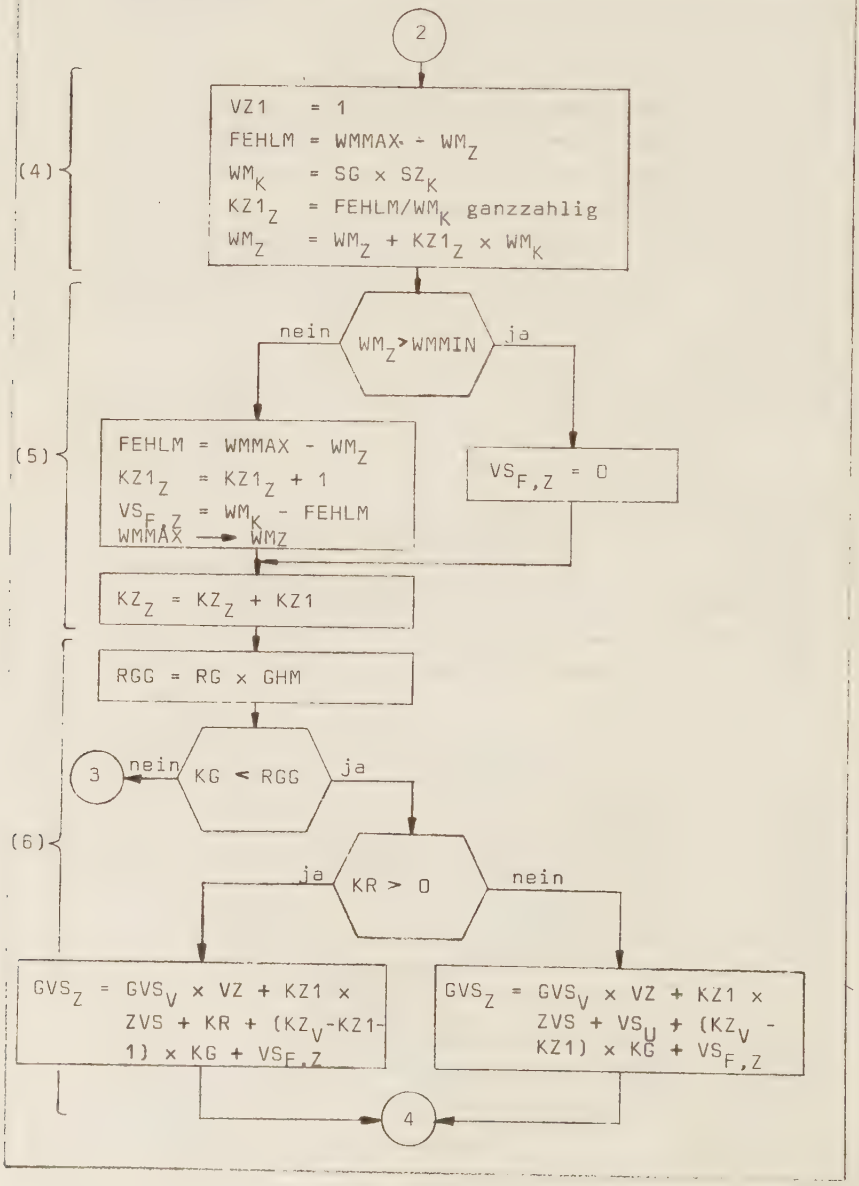
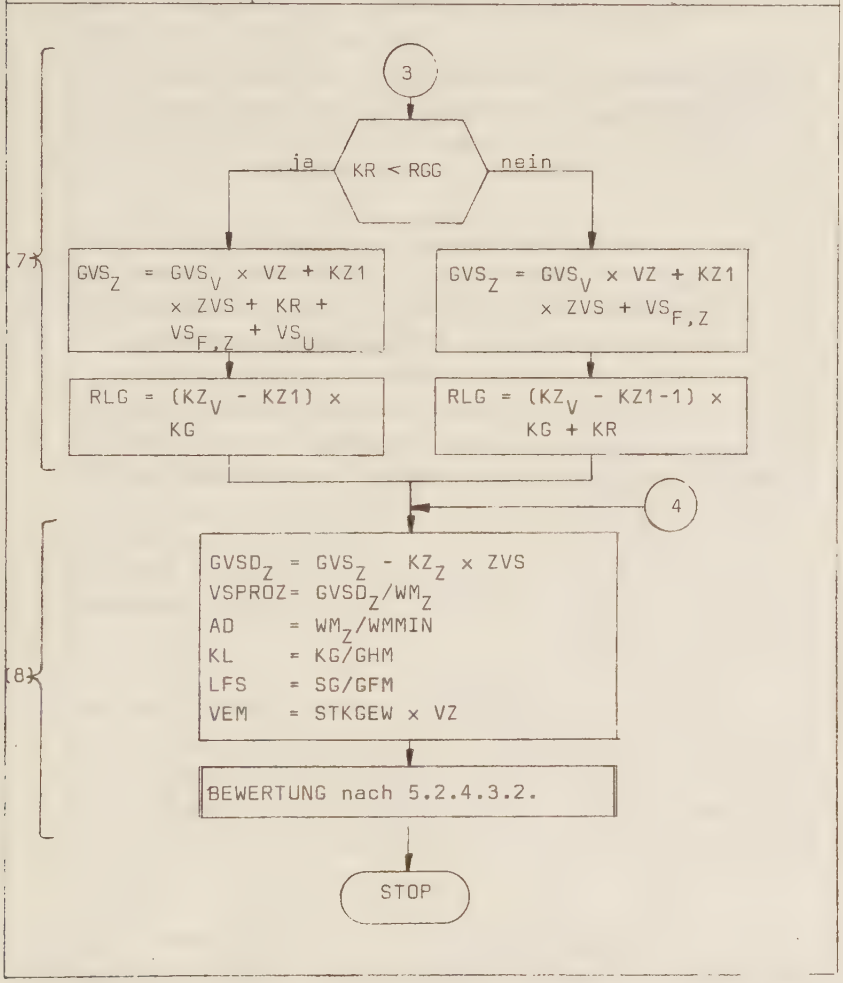


Abb. 5.2.4.3./1	Logischer Ablauf der Zuteilungs-Mengenrechnung - Fortsetzung



5.2.4.4. Bewertungsrechnung

5.2.4.4.1. Bewertung bei vollständiger Vormaterialverwendung

Die Ermittlung der gesamten entscheidungsrelevanten Zuteilungskosten ist im Falle einer vollständigen Materialverwendung relativ einfach (siehe Abbildung 5.2.4.4.1./1).

Die Aufteilkosten eines Vormaterials $AUKO_V$, deren Ermittlung in Abschnitt 5.2.3.4.2. beschrieben ist, sind der Bewertung der Zuteilungsalternative zugrundezulegen. Allein die Leerzeitkosten LZK hat man unter dem Aspekt, daß mehrere Vormaterialien zugeteilt werden, zu korrigieren. Die Ursache ist darin zu sehen, daß bei der Bewertung der Aufteilungsalternative immer nur die um 1 reduzierte Knüppelzahl zur Leerzeitermittlung herangezogen wird. Werden hingegen mehrere Vormaterialien zugeordnet, so ist zu bedenken, daß zwischen den Knüppel-Teilmengen der einzelnen Vormaterialien auch eine Leerzeit auftritt. Diesem Sachverhalt ist durch Erhöhung der Leerzeitkosten Rechnung zu tragen.

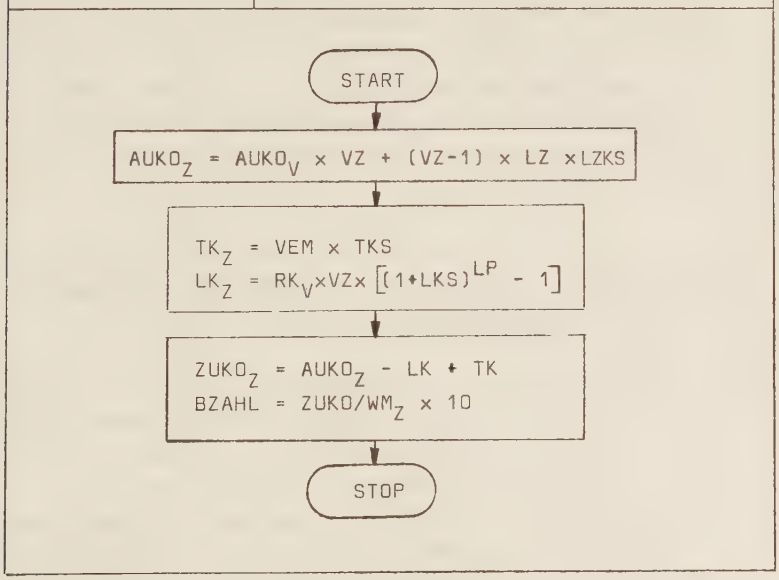
In die gesamten entscheidungsrelevanten Zuteilungskosten gehen neben den VZ-fachen Aufteilkosten $AUKO_V$ und dem Leerzeit-Korrekturelement noch die zu erwartenden Transportkosten TK_Z (durch Multiplikation der Vormaterialeinsatzmenge mit dem entsprechenden Lagerort-Transportkostensatz TKS) ein.

Als kostenreduzierendes Element sind die vermiedenen Lagerkosten (vgl. dazu die Ausführungen in Abschnitt 4.3.2.2.3.) unter Beachtung des Aufzinsungseffektes zu berücksichtigen. Die Lagerdauer in Perioden LP umfaßt den Zeitraum zwischen dem Dispositionszeitpunkt TD und dem Wiederverwendungszeitpunkt TWV_V in Monaten.

Es scheint jedoch nicht zweckmäßig, während des Entscheidungsprozesses den vollen Betrag der Zuteilungskosten am Bildschirm auszugeben. Großaufträge könnten hier z. B. dazu führen, daß die optische Aufnahme eines großen Zahlenwertes den Disponenten überfordert. Dieses Argument läßt sich noch bekräftigen, wenn man bedenkt, daß der Sachbearbeiter während des Zuteilungsprozesses mehrere bewertete Zuteilungsalternativen vorgestellt bekommt und die entsprechenden Kostenwerte zu vergleichen hat.

Daher wird als Abschluß der Bewertung eine relativ kleine übersichtliche und dennoch aussagefähige Bewertungszahl BZAHL errechnet, die letztlich nur die für 10 kg des Fertigproduktes entstehenden Zuteilungskosten enthält.

Abb. 5.2.4.4.1./1	Bewertung der Zuteilungsalternative bei vollständiger Vormaterialverwendung



5.2.4.4.2. Bewertung bei Restanfall

Bei der Bewertung von Zuteilungsalternativen mit Restanfall wird ein Teil der relevanten Kostenkomponenten von der Tatsache, daß Restknüppel anfallen, überhaupt nicht berührt. Unter diesem Aspekt läuft die Bewertung (vgl. dazu auch Abbildung 5.2.4.4.2./1.) wie folgt ab:

(1) Die gesamten zuteilungsbezogenen Komponenten, die auch in der Aufteilungsrechnung für ein Vormaterial weitgehend gleich waren, wie z. B. die Reproduktionskosten RK_V, die Arbeitsgangkosten des Vormaterials AGK_V, die Umblockkosten UK_V und die Trennkosten AK_V, gehen unabhängig vom Restanfall, gewichtet mit der Zahl der tatsächlich zuzuordnenden Vormaterialen, in die Bewertung ein.

(2) Bei den knüppel- und fertigwalzbezogenen Kostenkomponenten ist hingegen anzunehmen, daß an den Restknüppeln u. a. kein Zusatzarbeitsgang durchgeführt und keine Fertigwalzung vollzogen wird. Die Zahl der zu bewertenden Leerzeiten ist um eins kleiner als die Gesamtzahl der einzusetzenden Knüppel. Der Schrotterlös gilt für den Gesamtverschnitt, dem u. U. auch die Restknüppel zuzurechnen sind.

(3) Zu der Ermittlung der verhinderten Lagerkosten und der verursachten Transportkosten gelten die Ausführungen des vorhergehenden Abschnittes.

(4) Die Bestimmung der Reproduktionskosten des Rückliefermaterials, die als Negativkomponente die Vormaterialeinsatzkosten reduzieren (vgl. dazu Abschnitt 4.3.2.2.4.), erfolgt analog zu der in Abbildung 5.2.3.2./1 skizzierten Vorgehensweise: Das Rückliefergewicht wird unter Berücksichtigung des Walzverlustes[1] WVU_R zur Menge M1 hochgerechnet; die fiktiven Umblock-

[1] Vgl. zur Datenbereitstellung Abschnitt 5.2.4.2.

kosten UK_{RL} werden unter Beachtung des gültigen Walzverlustfaktors $WKSU_{R,K}$ bestimmt. Dann errechnet man aus der Menge M1 unter Berücksichtigung jenes Arbeitsganges, der auch an den zuzuteilenden Vormaterialien durchzuführen ist –jetzt aber bezogen auf den Rohblock (AGF_R) – die Erschmelzungsmenge und die Arbeitsgangkosten AGK_R. Ähnlich werden auch die Erschmelzungskosten EK_{RL} ermittelt. Alle drei Komponenten akkumuliert ergeben die gewünschten Reproduktionskosten.

(5) Sind Rücklieferungen durchzuführen (RLG > 0), dann werden für diese die erwarteten Lagerperioden LP_{RL}, die Lagerkosten LK_{RL} für die rückzuliefernde Materialmenge und die entstehenden Transportkosten TK_{RL} errechnet. Weil zum Dispositionszeitpunkt nicht bekannt ist, in welches Lager das Material transportiert wird, setzt man den Kostensatz TKS für ein im mittleren Entfernungsbereich befindliches Lager fest.

(6) Im Anschluß daran ermittelt man die gesamten Zuteilungskosten $ZUKO_Z$ der Alternative, wobei alle Kostenkomponenten mit Ausnahme des Schrotterlöses SER, der vermiedenen Lagerkosten LK_Z und der Reproduktionskosten des Rückliefermaterials als verursachte Kosten aufsummiert werden. Die drei explizit genannten Komponenten wirken kostenreduzierend.

Abschließend erfolgt auch hier die Errechnung der Bewertungszahl BZAHL (vgl. vorhergehenden Abschnitt).

Abb. 5.2.4.4.2./1	Bewertung der Zuteilungsalternative bei Restanfall

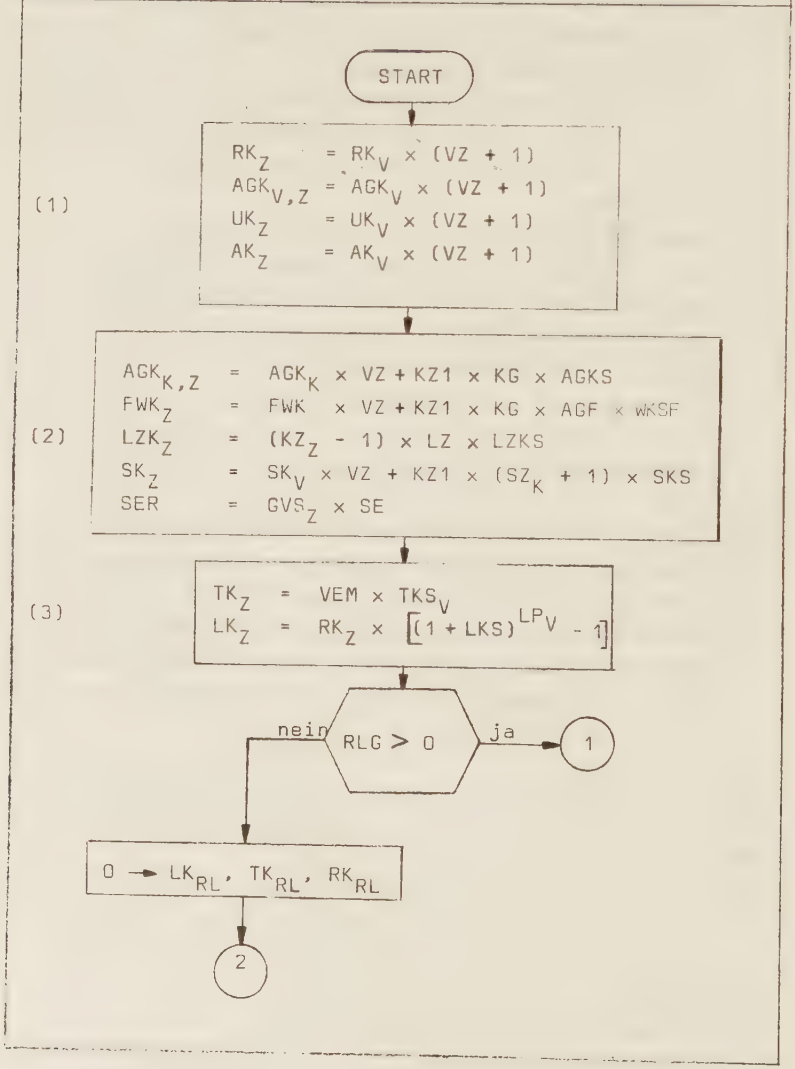


Abb. 5.2.4.4.2./1	Bewertung der Zuteilungsalternative bei Restanfall - Fortsetzung

(1)

(4)

$$M1 = RLG \times 1/WVU_{R,K}$$
$$EM_{RL} = M1 \times 1/AGF_R$$
$$UK_{RL} = M1 \times WKSU_{R,K}$$
$$AGK_{RL} = EM_{RL} \times AGKS_R$$
$$EK_{RL} = EM_{RL} \times EKS$$
$$RK_{RL} = UK_{RL} + AGK_R + EK_{RL}$$

(5)

$$TK_{RL} = RLG \times TKS_{RL}$$
$$LP_{RL} = TWV_K - TD$$
$$LK_{RL} = RK_{RL} \times \left[(1 + LKS)^{LP_{RL}} - 1\right]$$

(2)

$$ZUKO_Z = RK_Z + AGK_{V,Z} + UK_Z + AK_Z + AGK_Z + FWK_Z + LZK_Z + SK_Z - SER + TK_Z - LK_Z - RK_{RL} + TK_{RL} + LK_{RL}$$

$$BZAHL = ZUKO_Z/WM_Z \times 10$$

STOP

Zur Verdeutlichung der eben beschriebenen Verfahren wollen wir nun das in Abschnitt 5.2.3.5.2. skizzierte Beispiel fortführen.

Neben den bereits bekannten Auftrags-, Vormaterial- und Aufteilungsdaten benötigen wir für die durchzuführenden Berechnungen zunächst drei weitere Parameter: Für die Prüfung der Zulässigkeit einer Bestellgewichtsunterschreitung gilt K1 = 0,2 und K2 = 0,97. Die Rückliefergrenze für Restknüppel liegt bei 1.500 mm.

Zunächst wird die Mengenrechnung nach den Schritten der Abbildung 5.2.4.4.1./1 durchgeführt. Dabei zeigt sich in Phase (1), daß zwei Vormaterialien vollständig zu verwenden sind (WM_Z = 1.850,2), wobei jedoch eine Fehlmenge von 619,8 kg auftritt (Phase (2)), die auf jeden Fall zur Zuordnung eines weiteren Vormaterials, bei dem jedoch ein Rest anfallen wird, führt.

Aus der in Phase (4) nun auf das maximale Bestellgewicht bezogenen Fehlmenge (743 kg) und der nutzbaren Walzmenge je Knüppel (84,1 kg) resultiert ein zusätzlicher Knüppeleinsatz von 8 Stück. Die Gesamtwalzmenge WM_Z (= 2.523) liegt dann im Gewichtstoleranzbereich (Phase (5)).

Da das Knüppelgewicht (92,69 kg) größer ist als das Rückliefergrenzgewicht (72 kg), werden die Restknüppel, insgesamt drei Stück, ans Lager zurückgeliefert. Das Gesamtgewicht der Rücklieferung beträgt 278 kg, der zu bewertende Gesamtverschnitt 90 kg.

Dem Disponenten können nach Abwicklung der Phase (8) insgesamt folgende Informationen übermittelt werden:

- Es sind drei Vormaterialien 4-kant 240 mit einem Stückgewicht von 1.095 kg auf den Auftrag zuzuteilen.

- Die Vormaterialien sind auf Knüppel der Dimension 4-kant 80 umzublocken, wobei das Knüppelgewicht ~92,7 kg und die Knüppellänge 1.930 mm beträgt.

- Von den herzustellenden Knüppeln sind 30 Stück für die Fertigwalzung zu verwenden, der Rest von 278 kg ist an das Lager zurückzuliefern.

- Bei dieser Zuteilungsalternative entsteht kein dispositiver Verschnitt.

- Die Auftragsdeckung liegt bei 102 %.

- Die effektiv zu schneidende Fertigstablänge beträgt 5.606 mm.

Diese Mengendaten sind dann nach den Rechenschritten der Abbildung 5.2.4.4.2./1 zu bewerten. Aus deren Phasen (1) und (2) resultieren z. T. unter Berücksichtigung der in der Aufteilungsrechnung ermittelten Kostenwerte folgende Gesamtkomponentenbeträge:

RK_Z = 3.485,52; $AGK_{V,Z}$ = 65,7; UK_Z = 159,33; AK_Z = 15; $AGK_{K,Z}$ = 139,14; FWK_Z = 222,46; LZK_Z = 174; SK_Z = 54; SER = 63.

Die vorläufige Gesamtkostensumme, die nur die aufteilungsrelevanten Kosten umfaßt, beträgt 4.252,15 DM.

Für die weiteren Bewertungsschritte werden folgende Annahmen getroffen: Der Transportkostensatz für das Vormaterial beträgt 0,02 DM, jener für das Rückliefermaterial 0,03 DM je ME.

Der voraussichtliche Wiederverwendungszeitpunkt des Vormaterials liegt in 4 Monaten, jener des Rückliefermaterials in 6 Monaten. Der Lagerkostensatz LKS beträgt 1 % monatlich. Der Walzverlustfaktor $WVU_{(R,80)}$ wurde mit 0,95, der Walzkostensatz $WKSU_{(R,80)}$ mit 0,02, der Arbeitsgangfaktor (Putzflämmen) für den Rohblock AGF_R mit 0,97 und der entsprechende Arbeitsgangkostensatz $AGKS_R$ mit 0,02 festgelegt.

Phase (3) führt aufgrund dieser Daten zu Transportkosten von 65,7 und zu vermiedenen Lagerkosten von 141,52.

Für das Rückliefermaterial ergeben sich dann ein Reproduktionskostenwert von 313,56, Transportkosten von 8,34 und Lagerkosten von 19,3.

Die verschiedenen Kostenkomponenten (Phase (6)) führen zu den gesamten entscheidungsrelevanten Zuteilungskosten $ZUKO_Z$ von 3.890,61 DM und der daraus abgeleiteten Bewertungszahl 15,42. Diese wird dem Disponenten als wesentliches Beurteilungskriterium zusammen mit den vorhin genannten Informationen zur Gesamtbewertung einer Zuteilungsalternative am Bildschirm vorgestellt.

5.2.5. Zuordnung unterschiedlicher Vormaterialien zu einem Auftrag

5.2.5.1. Problemstruktur

Manchmal ergibt sich das Problem, daß in Abhängigkeit von der gewählten Suchstrategie (vgl. dazu die Ausführungen in Abschnitt 6.3.1.) A in der Dimension unterschiedliche Vormaterialpositionen, von denen keine den Auftrag vollständig deckt, aufgrund qualitativer Kriterien für die Zuteilung in Betracht kommen. Hier gilt es, während des Dispositionsprozesses aus dieser Gesamtmenge jene Positionen auszuwählen, die den Auftrag von der Menge her zu decken vermögen und dabei die geringsten Kosten verursachen.

Dabei gelten vielfach die Restriktionen,

- daß auf einen Auftrag nur B ($B \leq A$) unterschiedliche Bestände zugeordnet werden dürfen und

- daß von den C ($C \leq B$) effektiv zuzuteilenden Materialpositionen mindestens C - 1 für den Auftrag vollständig, d. h. ohne Rest verwendet werden müssen. Nur bei einer der in Betracht gezogenen Positionen ist es zulässig, einen Rest am Lager liegenzulassen bzw. nach der Zwischenwalzung ans Lager zurückzuliefern.

Es handelt sich hier ganz allgemein um ein Kombinationsproblem von A Elementen zur B-ten Klasse ohne Wiederholungen, dessen Lösung bei fixen Stablängen relativ einfach ist, bei variablen Stablängen aber zu erheblichen Schwierigkeiten führt (siehe Abschnitt 5.2.5.3.).

5.2.5.2. Kombination bei fixen Stablängen

Als Voraussetzung für die Durchführung der Kombinationsrechnung müssen die in Betracht zu ziehenden VM-Positionen rechnerisch in einer Form vorliegen, die sowohl die mengenmäßige als auch die kostenmäßige Eignung in den Entscheidungsprozeß einfließen läßt. Diese Forderung erreicht man, indem zunächst für jede Bestandsposition die Sub-Zuteilungsalternative, die nur einen Teil der Auftragsmenge deckt, durch die Aufteilungs- und Zuteilungsrechnung der Abschnitte 5.2.3. und 5.2.4. ermittelt wird. Die Daten der Sub-Zuteilungsalternativen bilden die Grundlage für die eigentliche Kombinationsrechnung.

Wenn in diesem und im nächsten Abschnitt die Begriffe Vormaterial, VM-Position, Bestandsposition u. ä. genannt werden, dann sind darunter immer die daraus resultierenden Sub-Zuteilungsalternativen zu verstehen.

Damit möglichst rasch ein gutes (kostenminimales) Kombinationsergebnis erzielt wird, ist es zweckmäßig, zuerst jene Vormaterialien in den Kombinationsprozeß miteinzubeziehen, die die kleinsten Bewertungszahlen aufweisen. Diese Überlegung läßt sich durch Sortierung der Bestandspositionen nach der Bewertungszahl BZAHL systematisieren.

Für die erste Phase der Kombination wird zunächst die Bestandsposition mit der kleinsten Bewertungszahl als fester Zuteilungskandidat vorgesehen. Dann werden nach und nach durch iteratives Miteinbeziehen der kostenmäßig nachfolgenden VM-Positionen Kombinationen gebildet, wobei jedoch die Prämisse, daß nicht mehr als B verschiedene Vormaterialien

in einen Zuordnungsvorschlag eingehen dürfen, zu beachten ist. Reicht die Anzahl der maximal B verschiedenen Bestände nicht, um den Auftrag zu decken, bildet man eine andere Kombination durch Hereinnahme der nächstfolgenden VM-Position und Eliminierung einer eben noch berücksichtigten.

Läßt sich ein Auftrag durch C (C ≤ B) Vormaterialpositionen decken, dann wird, ähnlich wie in Abschnitt 5.2.4. beschrieben, das gesamte Mengengerüst (Anzahl der verschiedenen Vormaterialpositionen, die vollständig zuzuteilen sind, evtl. Anzahl der Vormaterialien aus einer Position, die nur z. T. benötigt wird, evtl. Anfall von Restknüppeln, Gesamtverschnitt, Auftragsdeckung, Knüppelzahl, etc.) errechnet und bewertet.

Die ermittelte VM-Kombination wird mit sämtlichen Mengendaten einschließlich der gesamten Zuteilungskosten zwischengespeichert.

Anschließend erfolgt die Bildung und Bewertung der nächsten zulässigen Kombination. Sind deren Zuteilungskosten kleiner als jene der bisher günstigsten Kombinationsalternative, dann wird die neue Zuteilungsalternative als günstigste zwischengespeichert.

Wurden sämtliche Kombinationen, in denen die kostengünstigste Bestandsposition vorkommt, überprüft, wird diese aus der weiteren Betrachtung eliminiert und die Kombinationsbildung mit der zweitbesten Bestandsposition fortgeführt.

Diese Vorgehensweise wiederholt sich im Prinzip so lange, bis keine Kombinationsbildung mehr möglich ist.

Das eben beschriebene Verfahren sei nun anhand eines schematischen Beispiels illustriert.

Nehmen wir an, zur Erfüllung eines Auftrages ist eine Walzmenge von 2.000 ME erforderlich. Zur Auftragsdeckung stehen fünf verschiedene VM-Positionen VM(1), ..., VM(5) mit ihren erzielbaren Walzmengen und Gesamtkosten (aus der Aufteilungs- und Zuteilungsrechnung), sortiert nach ihren Bewertungszahlen, zur Verfügung (Abbildung 5.2.5.2./1). Aus betriebsorganisatorischen Gründen dürfen bei der Fertigung nicht mehr als drei verschiedene Vormaterialpositionen eingesetzt werden. Wie muß die optimale Zuteilungsalternative aussehen?

Abb. 5.2.5.2./1	Schematisches Beispiel zur Vormaterialkombination - Ausgangsdaten				
	VM(1)	VM(2)	VM(3)	VM(4)	VM(5)
Walzmenge	200	400	1.200	400	1.400
Bewertungszahl	10	11	12	12,5	13
VM-bezogene Zuteilungskosten	200	440	1.440	500	1.820

Das beschriebene Verfahren bildet iterativ die in Abbildung 5.2.5.2./2 angeschriebenen Kombinationen mit den entsprechenden Gesamtkosten.

Es zeigt sich, daß aus den neu gebildeten Zuordnungsalternativen drei unzulässig sind und das Kostenminimum bei Kombination sieben erzielt wird.

Ohne die Kombinationsversuche bis zur letzten möglichen Kombination fortzuführen, lassen sich aus diesem Beispiel folgende für die Kombinationsrechnung allgemein gültigen Feststellungen ableiten:

Abb. 5.2.5.2./2	Schematisches Beispiel zur Vormaterialkombination - Ergebnis		
Nr. der Kombination	Betroffene VM-Position	Zulässig	Zuteilungskosten
1	(1),(2),(3)	nein	-
2	(1),(2),(4)	nein	-
3	(1),(2),(5)	ja	2.460
4	(1),(3),(4)	nein	-
5	(1),(3),(5)	ja	2.420*
6	(1),(4),(5)	ja	2.520
7	(2),(3),(4)	ja	2.380 → Optim.
8	(2),(3),(5)	ja	2.400*
9	(2),(4),(5)	ja	2.500*
:	:	:	:

* Bei dieser Alternative wird angenommen, daß von VM(5) nur der benötigte Teil zum Einsatz kommt und der Rest am Lager bleibt.

(1) Aufgrund der Mengenstruktur der einzelnen Vormaterialpositionen ist keinesfalls sichergestellt, daß die kostenminimale Einzelposition auch in der optimalen Vormaterialkombination vertreten sein muß.

(2) Tritt der Fall ein, daß C in den Bewertungszahlen aufeinanderfolgende VM-Positionen in einer Kombination vertreten sind und weist diese Kombination die geringsten Zuteilungskosten auf (Alternative 7), dann ist das Optimum erreicht. Die Kombinationsrechnung kann an dieser Stelle abgebrochen werden. Der Grund für diesen Sachverhalt liegt in der vorgegebenen Sortierfolge der Vormaterialpositionen.

Jede weitere Kombination führt dazu, daß Bestände mit höherer Bewertungszahl in die Rechnung mit einbezogen werden und dadurch zwangsläufig höhere Zuteilungskosten entstehen.

Gerade diese zweite Feststellung hat als Abbruchkriterium für die praktische Durchführung der Kombinationsrechnung erhebliche Bedeutung, da sie den Rechenaufwand wesentlich einzuschränken vermag.

Als Ergänzung dazu muß jedoch erwähnt werden, daß ein Abbruch nur dann zulässig ist, wenn bei dieser Zuordnungsalternative keine Rücklieferungen ans Lager entstehen. Bei Rücklieferungen kann theoretisch der Fall eintreten, daß die anfallenden Rücklieferkosten größer sind als jene zusätzlichen Kosten, die entstehen, wenn eine in der Bewertungszahl schlechter gestellte Bestandsposition in den Kombinationsprozeß miteinbezogen wird.

Den Gesamtablauf der Kombinationsrechnung zeigt zusammenfassend Abbildung 5.2.5.2./3. Darin ist auch die in der Praxis gegebene Möglichkeit einer Erhöhung der Kombinationsklasse B berücksichtigt.

Abb. 5.2.5.2./3	Ablauf der Vormaterialkombination bei fixen Stablängen

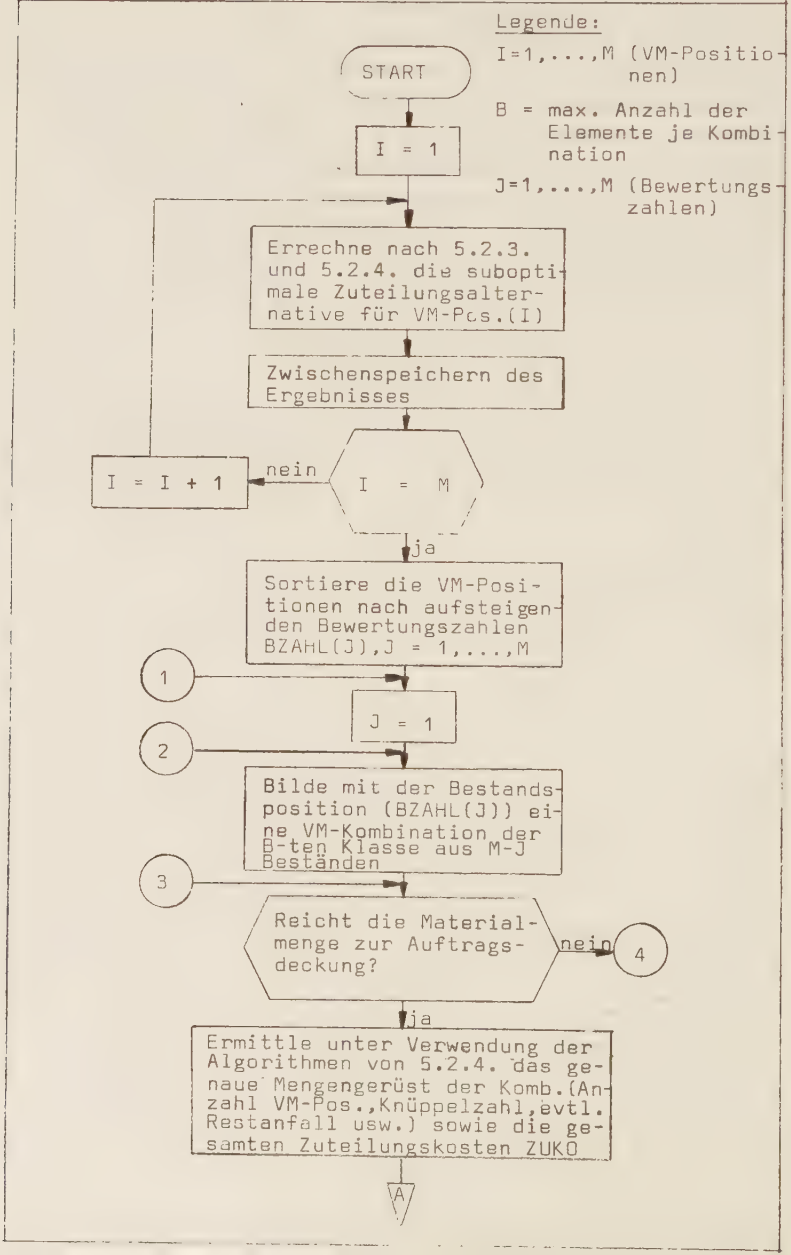
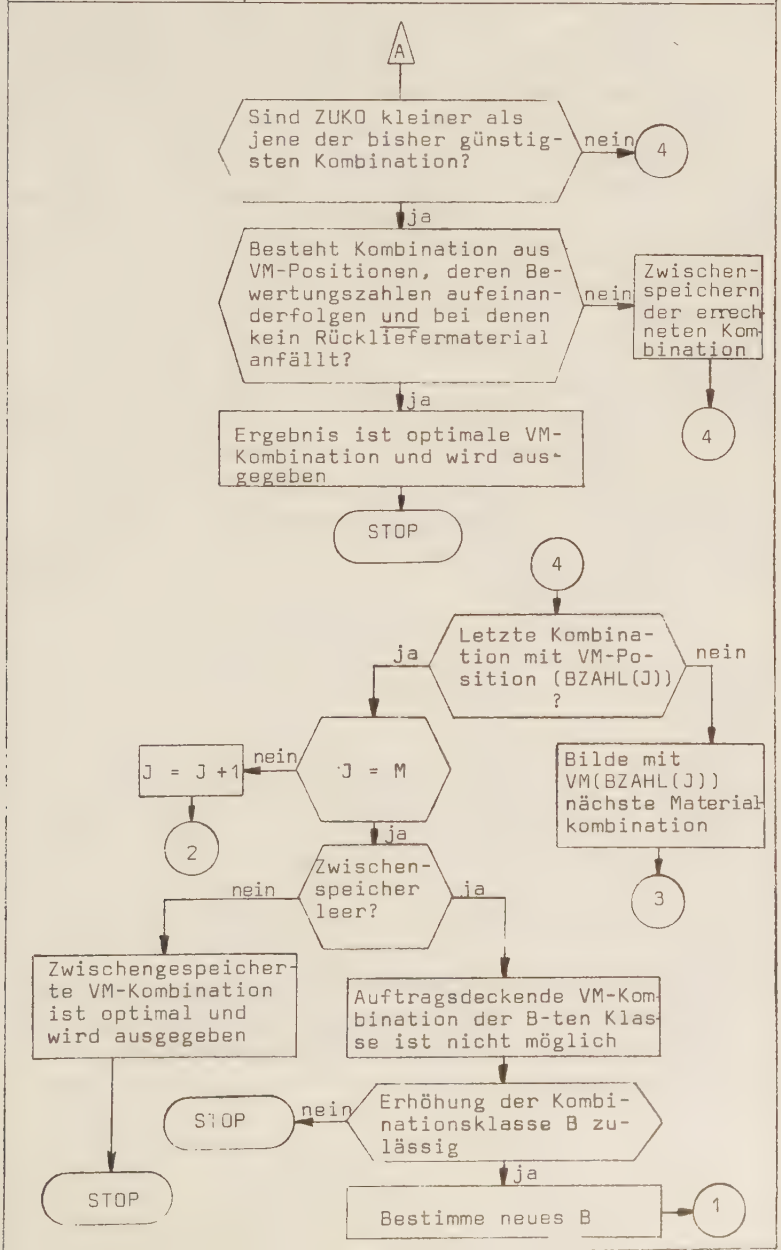


Abb. 5.2.5.2./3	Ablauf der Vormaterialkombination bei fixen Stablängen - Fortsetzung



5.2.5.3. Kombination bei variablen Stablängen

5.2.5.3.1. Spezielle Problembeschreibung

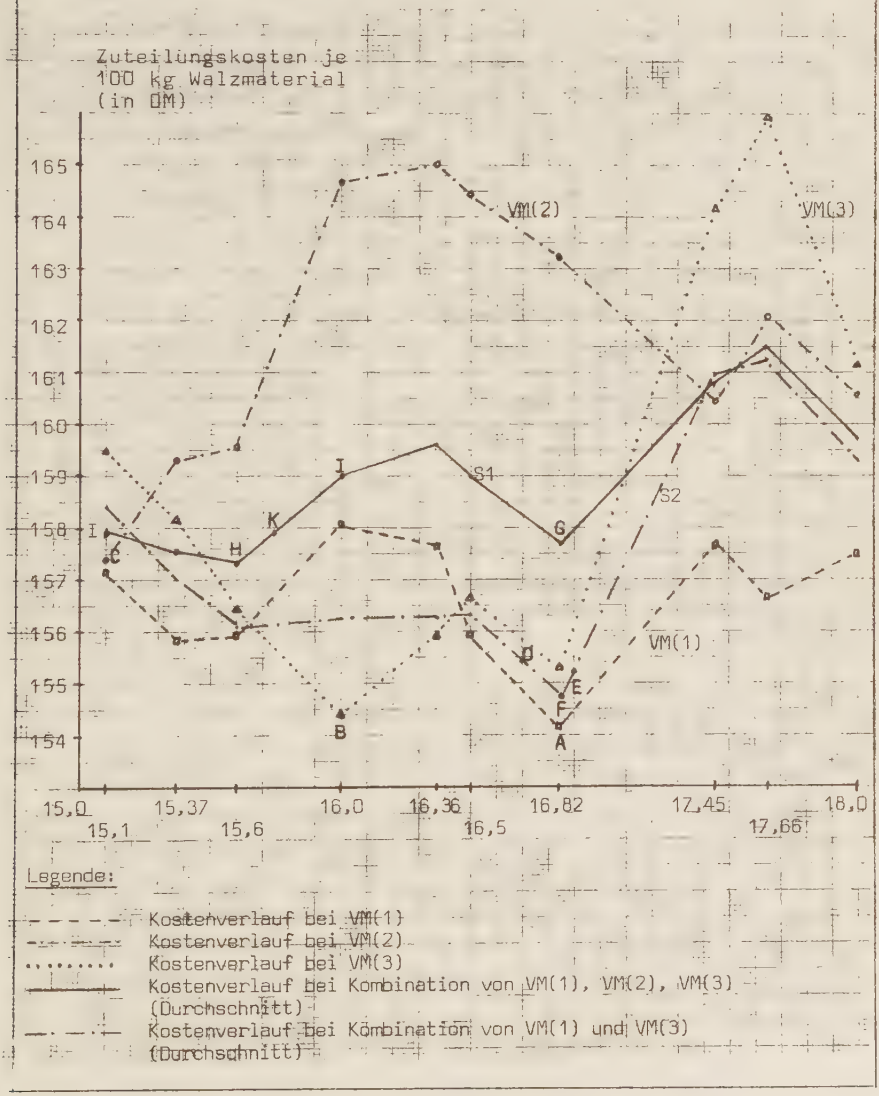
Die im letzten Abschnitt beschriebene Vorgehensweise zur Ermittlung der optimalen Vormaterialkombination läßt sich bei variablen Stablängen nicht anwenden. Verantwortlich dafür ist die Tatsache, daß bei variablen Stablängen die Ermittlung der als Ausgangsbasis dienenden Sub-Zuteilungsalternativen in der Regel zu Ergebnissen führen wird, die für eine sofortige Kombination nicht geeignet sind. Es ist nämlich zu vermuten, daß jedem dieser Ergebnisse eine andere Stablänge zugrunde liegt.

Dieser Sachverhalt läßt sich anhand eines praktischen Beispiels nachweisen. Für drei verschiedene Vormaterialien wurden nach den Abschnitten 5.2.3. und 5.2.4. die jeweils kostenminimalen Sub-Zuteilungsalternativen - bezogen auf 100 kg Walzmaterial - errechnet (Abbildung 5.2.5.3.1./1), wobei sich das Stabgewicht zwischen 15 und 18 kg bewegen durfte.

Abb. 5.2.5.3.1./1	Optimale Sub-Zuteilungsalternativen und deren Stabgewichte			
Vormaterial	Dimension	Stückgewicht (kg)	Stabgewicht (kg)	Zuteilungskosten pro 100 kg(DM)
VM(1)	4-kant 240	1.095	16,82	154,2
VM(2)	flach 140 x 170	435	16,00	154,4
VM(3)	4-kant 80	255	15,10	157,4

Abbildung 5.2.5.3.1./2 zeigt die Relation zwischen Zuteilungskosten und Stabgewicht in einer graphischen Übersicht. A markiert darin das Kostenminimum bei VM(1), B bei VM(3) und C bei VM(2).

Abb. 5.2.5.3.1./2	Zuteilungskosten verschiedener Vormaterialpositionen je 100 kg Walzmaterial in Abhängigkeit vom gewählten Stabgewicht



Bei der gemeinsamen Zuordnung dieser Vormaterialien zu einem Auftrag ist jedoch zu berücksichtigen, daß aufgrund betrieblicher Restriktionen (vgl. dazu Abschnitt 4.2.1.2.) nur die Fertigung einer einheitlichen Stablänge zulässig ist.

Es stellt sich nun während des Dispositionsprozesses die Frage, welche spezielle Stablänge zu solchen VM-bezogenen Sub-Zuteilungsalternativen führt, daß die Auswahl und Zuordnung von maximal B verschiedenen VM-Positionen zu einem Auftrag zu den minimalen Gesamt-Zuteilungskosten führt.

Die Lösung dieses Problems - bezogen auf unser Beispiel - erfordert, daß mindestens zwei VM-Positionen von ihrem Optimum abweichen.

Zur Illustration, wie sich die relevanten Zuteilungskosten entwickeln, wenn vom optimalen Stabgewicht abgewichen wird, wurden für verschiedene Stabgewichte Zuteilungsalternativen errechnet. Das Ergebnis zeigen die Kostenkurven VM(1), VM(2) und VM(3) der Abbildung 5.2.5.3.1./2.

Die Kurve S1 verdeutlicht beispielhaft den Gesamtkostenverlauf in Abhängigkeit vom Stabgewicht, wenn alle drei VM-Positionen mit gleichem Gewicht in eine Zuordnungsalternative eingehen. S2 skizziert den entsprechenden Kostenverlauf bei einer Kombination von VM(1) und VM(3).

5.2.5.3.2. Grundsätzliche Lösungsmöglichkeiten

Zur Lösung des Problems lassen sich verschiedene Verfahren, die zu mehr oder weniger guten Ergebnissen führen, heranziehen. Bevor die realisierte Vorgehensweise in Abschnitt 5.2.5.3.3. beschrieben wird, seien die verschiedenen grundsätzlichen Möglichkeiten kurz skizziert und bewertet.

Verfahren 1

Dem Grunde nach läßt sich das Problem theoretisch durch Erweiterung des in Abschnitt 5.2.3.6. beschriebenen Ansatzes der nichtlinearen Planungsrechnung exakt lösen. Wie jedoch bereits dort erwähnt, ist der zur Lösung erforderliche Aufwand nicht vertretbar. Daher wird diese Möglichkeit in der Folge nicht weiter betrachtet.

Verfahren 2

Man führt das Problem auf eine Form zurück, in der es mit dem Kombinationsalgorithmus bei fixen Stablängen gelöst werden kann. Das ist z. B. dergestalt denkbar, daß der gesamte Toleranzbereich in die kleinstmöglichen diskreten Werte (z. B. mm) aufgeteilt und jeder dieser Werte als Fixlänge interpretiert wird. Iterativ werden dann für jeden dieser Werte VM-bezogene Sub-Zuteilungsalternativen mit anschließender Kombinationsrechnung durchgeführt. Nach jedem Durchlauf wird geprüft, ob der gerade errechnete Kombinationsvorschlag kostengünstiger ist als der bisher günstigste zwischengespeicherte. Wenn ja, wird die eben errechnete Alternative als beste zwischengespeichert. Dann wird die nächsthöhere Fertigstablänge gewählt und die Prozedur von neuem durchlaufen. Auf diese Weise läßt sich die tatsächlich optimale Zuordnungsalternative ermitteln.

Wie sich anhand der folgenden Betrachtung zeigen läßt, ist der dafür erforderliche Aufwand hinsichtlich Rechenzeit und Dialogabwicklung bei einem Rechner mittlerer Größe kaum vertretbar:

Bei einem Längentoleranzbereich von 1.000 mm, acht möglichen Vormaterialien und einer Kombinationsklssse von B = 3 sind 1000 mal für jede VM-Position die Aufteilungs- und Zuteilungsrechnung und im Extremfall 1000 x$\binom{8}{3}$ (= 56 x 10^3) Kombinationen durchzurechnen.

Verfahren 3

Man erhöht bei dem eben skizzierten Verfahren bei jeder Iteration die Stablänge um W (z. B. 200) mm. Dadurch hält man - wie Tests gezeigt haben - die Rechenzeit in Grenzen und erzielt in der Regel auch gute Ergebnisse. Ob jedoch das Optimum erreicht wird, ist ungewiß. Das wäre in Abbildung 5.2.5.3.1./2 z. B. dann der Fall, wenn das Verfahren bei der Kombination von VM(1) und VM(3) einen Optimierungsversuch bei einem Stabgewicht von 16,8 und 16,9 durchführt. Dabei werden die Suboptima D und E errechnet, das tatsächliche Optimum F wird jedoch verfehlt.

Verfahren 4

Man errechnet iterativ für jede VM-Position die optimale Zuteilungsalternative, nimmt die darin ermittelte Stablänge für die anderen Bestände als Fixlänge, errechnet auf dieser Basis für die übrigen Vormaterialien die Sub-Zuteilungsalternative und führt anschließend die Kombinationsrechnung durch. Das jeweils günstigste Ergebnis wird zwischengespeichert.

Bei dieser Vorgehensweise ist der Aufwand an Rechenzeit gering. Es ist jedoch keinesfalls gewährleistet, daß das tatsächliche Optimum erreicht wird. Als Beispiel dafür diene die Kostenkurve S1. Abhängig von den suboptimalen Stabgewichten werden nach und nach die Zuteilungskosten I, J und G errechnet, wobei G als günstigste Alternative realisiert wird. Die im Zwischenbereich liegende Alternative H (Stabgewicht 15,6), die das Optimum darstellt, wird jedoch nicht erzielt.

5.2.5.3.3. Beschreibung des realisierten Lösungsansatzes

Zur Lösung des Problems wurde eine Heuristik entwickelt, die sich im wesentlichen der oben genannten Verfahren 3 und 4 bedient.

Die praktizierte Vorgehensweise läßt sich wie folgt beschreiben:

Zunächst werden nach Verfahren 4 die VM-Kombinationen jener Stablängen errechnet und bewertet, die im Rahmen einer Sub-Zuteilungsalternative festgelegt wurden.
Die kostengünstigste Kombinationsmöglichkeit wird als Optimum aus dieser Betrachtungsweise, das bezogen auf das theoretisch erzielbare Gesamtoptimum wahrscheinlich ein Suboptimum darstellt, zwischengespeichert.

Dann folgt nach Verfahren 3 die Ermittlung jener kostengünstigsten VM-Kombination,die sich ausgehend von der unteren Stablänge durch iterative Erhöhung um einen bestimmten Wert W bis hin zur Obergrenze erzielen läßt.
Das günstigste Ergebnis aus dieser Betrachtung wird ebenfalls als Suboptimum zwischengespeichert.
Um zu vermeiden, daß das Suboptimum aus dem Verfahren 4 und jenes aus dem Verfahren 3 sich auf die gleiche Länge beziehen, wird bei dieser Vorgehensweise die Kombinationsrechnung bei jener Längeniteration nicht durchgeführt, die sich hinsichtlich der Fertigstablänge in unmittelbarer Nähe der Länge befindet, die dem Kombinationsergebnis aus Verfahren 4 zugrunde liegt. Damit soll verhindert werden, daß beide Suboptima zwangsläufig dem gleichen Gesamtergebnis zusteueren.

Die bisherige Vorgehensweise deckt eine Reihe alternativer VM-Kombinationsmöglichkeiten ab, gewährleistet aber immer noch nicht die Ermittlung des günstigsten Gesamtergebnisses.
Zur Veranschaulichung diene folgendes konstruierte Beispiel:
Nehmen wir an, das Optimum aus dem Verfahren 4 liege - bezogen auf Abbildung 5.2.5.3.1./2 - bei Punkt G, jenes aus dem Verfahren 3 bei Punkt K ($K > G$). Das tatsächliche

Optimum hingegen möge bei H liegen. Bei Realisierung der bisher günstigsten Kombinationsmöglichkeit (G) wird man dieses also verfehlen.

Zur Vermeidung derartiger Fehlentscheidungen wird mit Hilfe einer einfachen Sensitivitätsanalyse durch sequentielle Betrachtung der bisherigen Suboptima überprüft, ob sich die jeweiligen Zuteilungskosten verringern lassen. Dies geschieht durch eine geringfügige Änderung der dem betrachteten Ergebnis zugrunde liegenden Stablänge und neuen Start der Kombinationsrechnung. Dabei ist zunächst zu bestimmen, in welcher Richtung sich das Ergebnis verbessern läßt: durch Erhöhung oder Reduzierung der Stablänge.

Führt z.B. die Erhöhung der Stablänge um den Betrag ΔW (z.B. 1o mm) in der anschließenden Kombinationsrechnung zu einer Erhöhung der relevanten Zuteilungskosten, dann wird nach der ersten Iteration eine weitere Erhöhung sofort gestoppt (Diese Reaktion wäre z.B. bei Punkt K der Abbildung 5.2.5.3.1./2 zu erwarten.) und entsprechend mit einer iterativen Reduzierung der Stablängen fortgefahren.

Dieser Iterationsprozeß mit seinen sich wiederholenden Kombinationsrechnungen wird solange fortgesetzt, bis die Zuteilungskosten wieder steigen oder - je nach Vorgehensweise - eine Stablängenerhöhung bzw. -reduzierung aufgrund der Auftragsdaten nicht mehr zulässig ist. Ist dies der Fall, dann wurde ein neues Suboptimum erreicht (in unserem Beispiel Punkt H).

Das eben beschriebene Prinzip wird auch auf das zweite Suboptimum angewandt.

Zum Schluß werden die Zuteilungskosten der beiden Kombinationsalternativen verglichen. Die kostengünstigste wird mit sämtlichen Daten als mögliche Zuteilungsalternative für die weiteren Dispositionsarbeiten ausgegeben.

Aus dem eben beschriebenen Verfahren resultiert jedoch nicht mit absoluter Sicherheit die kostengünstigste Kombinationsmöglichkeit. So kann z.B. durchaus der Fall eintreten, daß bei der iterativen Stablängenerhöhung zwei oder mehrere unterschiedliche Stablängen zu annähernd gleichen Zuteilungskosten führen. Bei näherer Betrachtung des ausgewählten Suboptimums besteht nun die Möglichkeit, daß dieses Ergebnis nicht mehr zu verbessern ist, während eine kostenmäßig nur wenig darüber liegende Kombinationsalternative durch die iterative Stablängenvariation ΔW so weit zu verbessern wäre, daß sie das Suboptimum unterschreitet. In diesem Fall wird also das Gesamtoptimum verfehlt.

Die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten einer derartigen Situation ist abhängig von der gewählten primären Iterationsweite W.

Durchgerechnete Testbeispiele, die mit dem Verfahren 2 auf Optimalität überprüft wurden, haben gezeigt, daß bei einer Iterationsweite von 1oo mm in ca. 3 % der Fälle, bei einer Iterationsweite von 2oo mm in ca. 8 % der Fälle das Optimum verfehlt wurde.

Bei der Festsetzung der Iterationsweite ist jedoch zu bedenken, daß mit dem Anwachsen des Zielerreichungsgrades durch Reduzierung der Iterationsweite auch die erforderliche Rechenzeit entsprechend zunimmt.

5.3. Zur Auswahl der optimalen Zuteilungsalternative

Bei der Beschreibung der Idealkonzeption des Gesamtsystems in Abschnitt 2. wurde erklärt, daß eine errechnete Zuteilungsalternative nur dann in den engeren Entscheidungsprozeß eingeht, wenn deren Zuteilungskosten kleiner sind als die Kosten einer eventuellen Neuerschmelzung. Ein derartiger Vergleich setzt jedoch voraus, daß die Mengen- und Kostendaten der Neuerschmelzungsalternative bekannt sind.

Kommt die Gesamtmenge einer Charge zum Einsatz, dann ist die Ermittlung der entsprechenden Zuteilungskosten unproblematisch. Die relevanten Mengen- und Bewertungsdaten resultieren aus der Aufteilungsrechnung, bei der als Einsatzmaterial Rohblöcke verwendet werden. Schwierig wird die Bewertung der Neuerschmelzungsalternative jedoch dann, wenn Chargenrestbestände anfallen.

Zur Bestimmung der zu erwartenden Lagerkosten für dieses Restmaterial ist zum Dispositionszeitpunkt in Abhängigkeit vom vorhandenen Auftragsbestand und dem zu erwartenden Auftragseingang einer Marke zu bestimmen, auf welche Dimension das Restmaterial zwischenzuwalzen ist, damit es möglichst bald wieder eingesetzt werden kann, und wann die voraussichtlichen Wiederverwendungszeitpunkte sein werden.

Diese Aufgabe aufgrund der komplexen Auftrags- und Produktionsstruktur manuell mit hinreichender Genauigkeit zu lösen, ist unmöglich. Auch ein Verfahren, das dieses Problem und damit indirekt die Ermittlung der relevanten Lagerkosten der Neuerschmelzungsalternative mit Hilfe der EDV als Dialogbaustein zu lösen imstande ist, gibt es zur Zeit nicht[1].

---

[1] Eine ausführliche Diskussion dieses Problemkomplexes sowie eines Lösungsansatzes, der sich jedoch nicht für einen Dialogeinsatz eignet, ist bei Schröder, M., Einsatz der ..., a.a.O., S. 109 ff. beschrieben.

Aus diesem Grund wird im konzipierten und als Laborversion implementierten Gesamtsystem (vgl. dazu Abschnitt 6.) zunächst bei der Bestimmung der optimalen Zuteilungsalternative auf die Berücksichtigung der Neuerschmelzungsmöglichkeit verzichtet.

In den Entscheidungsprozeß gehen daher nur Zuteilungsalternativen ein, die bei der Betrachtung einzelner Vormaterialpositionen bzw. Kombinationsmöglichkeiten errechnet und zwischengespeichert wurden (siehe dazu den Entscheidungsablauf in Abschnitt 6.3.3.).

Die Integration der Neuerschmelzungsalternative in den Prozeß der computerunterstützten Entscheidungsfindung ist zu einem späteren Zeitpunkt ohne Schwierigkeiten möglich.

5.4. Auswertung von Simulationsläufen

Die zur Aufteilungs-, Zuteilungs- und Kombinationsrechnung entwickelten Verfahren wurden an ca. 5o praxisnahen Beispielen getestet. Dabei galt das Interesse sowohl den erforderlichen Rechenzeiten als auch der Sensibilität der Ergebnisse bei Änderung bzw. Vernachlässigung verschiedener Bewertungsparameter.

5.4.1. Rechenzeiten

Die Rechenzeiten für die Ermittlung von Zuteilungsalternativen bei Zuordnung von nur einer VM-Position lagen für fixe und variable Stablängen durchwegs unter einer Sekunde.

Die Kombinationsrechnung bei fixen Stablängen, acht verfügbaren Vormaterialien und einer Kombinationsklasse 3 benötigte in der Regel zwischen zwei und drei Sekunden.

Für die gleichen Ausgangsdaten, jedoch variable Stablängen und eine Iterationsweite von 2oo mm je Stab betrug die Rechenzeit in Abhängigkeit vom vorgegebenen Längentoleranzbereich zwischen 1o und 5o Sekunden.

5.4.2. Relevanz der Kostenkomponenten

Bei der Problemanalyse (vgl. Abschnitt 4.) wurden jene Kostenkomponenten ermittelt und untersucht, die bei der theoretisch exakten Betrachtung des Problems als entscheidungsrelevant anzusehen sind. Aus den in Abschnitt 5.2. gerechneten Beispielen ist zu ersehen, daß einige der Komponenten nur einen geringen Teil der Aufteilungs- bzw. Zuteilungskosten repräsentieren. Es lag daher die Vermutung nahe, daß der Einfluß dieser Komponenten auf die Entscheidungsfindung relativ gering ist.

Daher wurden bei einer Reihe von Beispielen die Auswirkungen von Parameteränderungen bzw. -vernachlässigungen unter ceteris-paribus-Bedingungen analysiert.

Die Ergebnisse seien nun kurz zusammengefaßt und kommentiert:

(1) Die Vernachlässigung der Aufteil-, Arbeitsgang- und Schneidekosten führte nur in wenigen Beispielen zu einer Änderung des Aufteilungsvorschlages, hatte aber auf die Auswahl der optimalen Zuteilungsalternative keinen Einfluß. Daher scheint es zulässig, diese Kostenkomponenten nur durch grobe Verrechnungssätze in die Bewertung eingehen zu lassen.

(2) Die Reduktion bzw. Vernachlässigung des Leerzeitkostensatzes führte tendenziell zu einer Erhöhung der Knüppelzahl bzw. zur Reduzierung des Verschnittanfalls je Auftrag; eine Erhöhung hatte den umgekehrten Effekt.

Die Steuerung der Knüppeleinsatzlängen über den Leerzeitkostensatz hat nicht nur für die Aufteilungs- und Zuteilungsergebnisse Bedeutung, sondern darüber hinaus auch für die Auslastung des Walzwerkes. So führen z.B. lange Knüppel zu einer Verminderung der Leerzeiten je Auftrag und dadurch zu einem beschleunigten zeitlichen Auftragsdurchlauf.

Die Auswirkungen einer Parameteränderung sind hier auf die Vormaterialdisposition und Walzwerksplanung so weitreichend, daß man den Leerzeitkostensatz generell als unternehmenspolitischen Steuerungsparameter vorsehen sollte. So ist es z.B. möglich, unter Opportunitätskostengesichtspunkten in Zeiten der Hochkonjunktur durch eine Parametererhöhung entgehende Deckungsbeiträge zu berücksichtigen und einen erhöhten Auftragsdurchsatz je Periode unter Inkaufnahme von erhöhtem Verschnittanfall bewußt herbeizuführen.

(3) Die Vernachlässigung der reinen Fertigwalzkosten, die nur hinsichtlich des zu walzenden Endenschrotts entscheidungswirksam sind, führte nur in einem einzigen Fall zu einem anderen Aufteilungsergebnis. Aufgrund dieser Tatsache scheint für den praktischen Einsatz der Verzicht auf eine allzu große Differenzierung der Walzkostensätze zulässig.

(4) Eine Vernachlässigung der Lagerkosten führte bei gut einem Drittel der betrachteten Beispiele zwangsläufig zu anderen Zuteilungskosten und zu einer anderen optimalen Zuteilungsalternative als bei Berücksichtigung der Lagerkosten.

Daher muß auch diese Komponente als ein die Dispositionsentscheidung wesentlich beeinflussender Faktor angesehen werden.

(5) Die Vernachlässigung der Transportkosten führte nur in einem Fall zur Auswahl einer anderen Zuteilungsalternative.

6. Abwicklung der Vormaterialdisposition im Mensch-Maschine-Dialog

Das in Abschnitt 2. global vorgestellte und dort als Denkmodell skizzierte Gesamtsystem zur Vormaterialdisposition wurde in seinen wesentlichen Teilen als Simulationsmodell auf der Rechenanlage CD 3300 der Universität Erlangen-Nürnberg implementiert.

Das Hauptaugenmerk war dabei auf die in Abschnitt 5. beschriebenen Moduln des Bausteins "Halbzeugberechnung und Vormaterialbewertung" und auf den Baustein "Qualitative Chargenauswahl" gerichtet.

Das System ist in COBOL programmiert, in einzelne Moduln untergliedert und, soweit erforderlich, mit einer Overlay-Struktur versehen. Durch diese Strukturierung gelang es, den benötigten Kernspeicherbedarf auf 52 quarterpages (à 512 Wörter mit 24 bit) zu beschränken.

6.1. Datenbasis

Von den im Lösungsvorschlag des Abschnitts 5. genannten relevanten Daten bzw. Dateien wurden einige als Testdateien installiert. Die verwendeten Daten stammen weitgehend aus der Praxis. Im einzelnen handelt es sich um die Marken-, Chargenkopf- und Bestandsdaten, das Marken-Austauschverzeichnis sowie um die Walzparameter- und Umblockdaten.

Ein weiterer Teil der benötigten Daten, wie z. B. Wiederverwendungszeiten, Lagerorte, Arbeitsgangfaktoren und -kostensätze wird, während der Verarbeitung über Zufallszahlen und Tabellen generiert und geht nur in grober Form in das System ein. Aufgrund fehlender Informationen wurde der Erschmelzungskostensatz für alle Marken generell mit DM 1,- angenommen.

Andere zu berücksichtigende Daten, wie z. B. Lager-, Transport- und Schneidekosten, Parameter zur Bestimmung von Grenzwerten (Rücklieferungen, Knüppelrestgrenze, Gewichts-Unterlieferungsfaktor, Walzkostensatz, Totzeit, u. a.), sind als Systemparameter festgelegt. Die angenommenen Werte korrespondieren jedoch weitgehend mit Daten, wie sie im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen in der Praxis erhoben wurden.

Die zur Aufbereitung der Ausgabebilder erforderlichen Textkonserven werden in einer eigenen Textdatei verfügbar gehalten und bei Bedarf zeilenweise eingelesen.

6.2. Aufbau, Steuerung und Funktionen des Systems

6.2.1. Grundsätzliche Überlegungen zur Systemgestaltung

Das Dialogsystem wurde unter dem Aspekt entwickelt, daß geschulte Benutzer möglichst schnell und effizient ihre Arbeiten im Rahmen der Vormaterialdisposition durchführen können. Zur Beurteilung verschiedener Situationen im Entscheidungsablauf müssen dem Sachbearbeiter manchmal relativ viele Informationen in einem Bild vorgestellt werden. Bedingt durch die fest vorgegebene Zeichenkapazität der Datensichtgeräte war es daher unumgänglich, verschiedene Informationen, vor allem Texte, in abgekürzter Form auszugeben.

Das System ist überwiegend als Sklavensystem[1)] gestaltet, d. h., der Ablauf des Dialoges wird dem Grund nach vom Rechner bestimmt. Er sucht z. B. Informationen, ermittelt Zwischenergebnisse und stellt diese dem Menschen vor. Gleichzeitig werden diesem aufgrund des ausgegebenen Bildinhaltes verschiedene Entscheidungsmöglichkeiten angeboten.

[1)] Vgl. dazu die allgemeine Typisierung von Informations- und Planungssystemen in: Mertens, P. und Griese, J., Industrielle Datenverarbeitung, Band 2: Informations- und Planungssysteme, Wiesbaden 1972, S. 23 f.

Der Mensch hat jedoch die Möglichkeit, wenn er vermutet, daß der aufgrund vergangener Eingaben vom System beschrittene Weg nicht zum Ziele führt, durch besondere Befehls-Codes den Dialogablauf zu unterbrechen und bestimmte, ihm geeignet erscheinende System-Funktionen zu starten bzw. den Dialogablauf an bestimmten Stellen fortzusetzen. Die Eingabe derartiger Codes ist an jeder Stelle des Systemablaufs möglich und wird an einigen Stellen auch gezielt vom System gefordert.

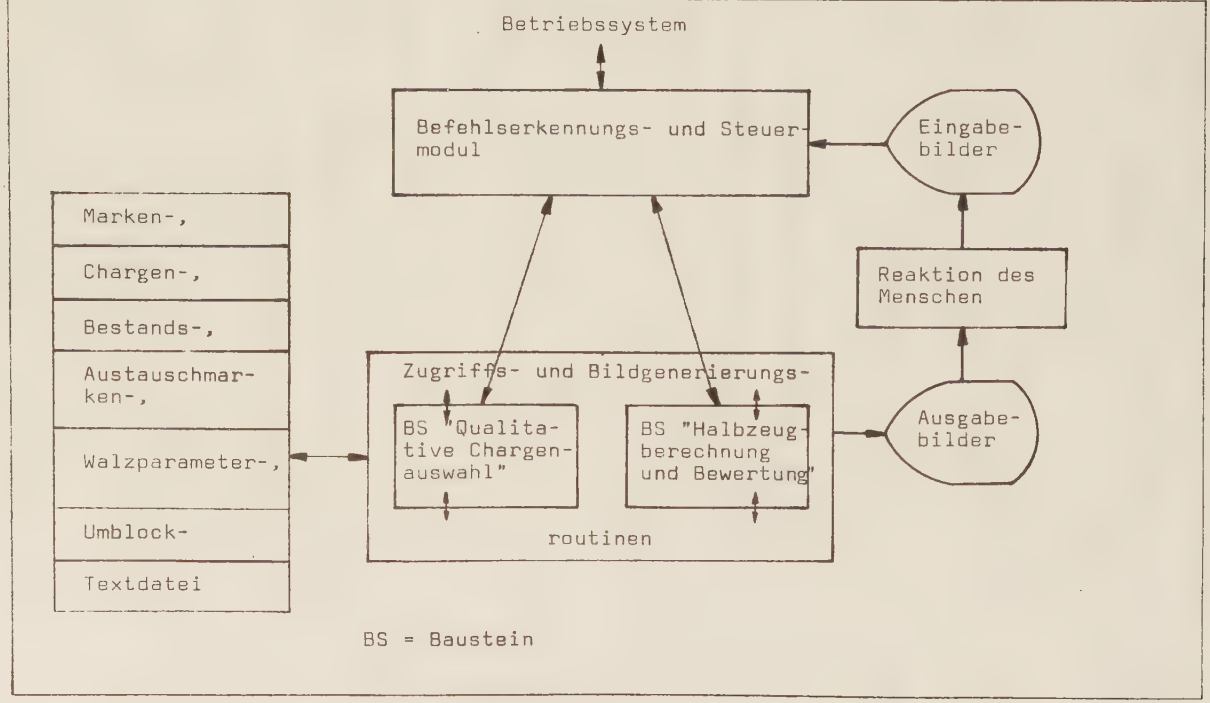
6.2.2. Aufbau und Steuerung des Systems

Das Dialogsystem ist modular aufgebaut. Zur Erzielung der Dialogfähigkeit wurden die Kernalgorithmen um eine Reihe von Zugriffs- und Bildgenerierungsroutinen erweitert (siehe Abbildung 6.2.2./1).

Zur Steuerung des Dialogablaufs erhält jedes in einem Modul generierte Bild vor seiner Ausgabe eine Bildnummer. Nach der Reaktion des Menschen wird der um die Antwort ergänzte Bildinhalt nicht mehr dem Programmteil übertragen, der die Ausgabe veranlaßt hat, sondern einem übergeordneten Befehlserkennungs- und Steuermodul. Dort erfolgt die Interpretation der Eingabe. Hat der Benutzer z. B. einen Befehls-Code eingegeben, wird die Art des Befehles festgestellt und zu dem Systemteil verzweigt, in dem die weitere Verarbeitung erfolgen soll. Wurden hingegen nur Parameter eingegeben, dann wird anhand des Bildsteuerzeichens die Verarbeitung dem in der Logik zwangsläufig folgenden Programmteil übertragen.

Die Eingaben des Benutzers werden in der Regel in der ersten Bildschirmzeile in Abhängigkeit von der gegebenen Situation in der Form parameter 1, ..., parameter n oder *befehls-code, parameter1, ..., parameter n oder nur in der Form *befehls-code durchgeführt. Sind spezielle Eingabeformate gefordert, so wird der Benutzer vom System ausdrücklich darauf hingewiesen.

Abb. 6.2.2./1 Struktur des Dialogsystems



6.2.3. Funktionen des Systems

Die Aufgaben, die das implementierte Simulationsmodell während des Dialogablaufes ausführt, seien nun in einem Überblick, der jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, stichwortartig skizziert.

Tabelle 6.2.3./1	Überblick über die Systemfunktionen

- Bereitstellung der auf Externspeichern befindlichen Daten, Parameter und Texte
- Modifikation des Analysebandes bei Eingabe von Analysenrestriktionen
- Bildung von Überlappungsbändern beim Überprüfen von Substitutionsmarken
- Überprüfen der Chargen auf qualitative Zulässigkeit und ausreichende Materialmenge
- Errechnen der Ausgangsdaten für die Halbzeugberechnung (vgl. Abschnitt 5.2.1.)
- Ermittlung eines Richtwertes für die voraussichtliche Vormaterialeinsatzmenge (vgl. Abschnitt 5.2.2.)
- Vormerken von Beständen während der Vormaterialrecherche
- Ermittlung der kostenminimalen Aufteilungsalternative für ein oder mehrere Vormaterialien (vgl. Abschnitte 5.2.3., 5.2.4. und 5.2.5.).
- Zwischenspeichern von Zuteilungsalternativen
- Generierung von situations- bzw. ergebnisspezifischen Ausgabebildern
- Durchführen verschiedener Plausibilitätsprüfungen bei der Dateneingabe mit Ausgabe von Fehlermeldungen und Korrekturhinweisen
- Generierung verschiedener Programmparameter

Die wichtigsten allgemeinen Befehls-Codes und deren Funktionen zeigt Tabelle 6.2.3./2.

Tabelle 6.2.3./2	Allgemeine Befehls-Codes
*ZCU	Die möglichen, an jeder Stelle des Dialogs einzugebenden Befehle werden in einem Bild vorgestellt (einfache Hilfe-Funktionen).
*ZEM	Die zu einer Marke vorhandenen Substitutionsmarken werden vorgestellt.
*ZVM	Die bisher zwischengespeicherten Bestandspositionen werden in einem oder mehreren Bildern ausgegeben.
*ZZA	Die bisher errechneten und bewerteten Zuteilungsalternativen werden in einem Überblicksbild vorgestellt.
*ZMD	Der Suchprozeß wird bei der zuletzt betrachteten Marke fortgesetzt.
*ZCD	Die Chargen- und Bestandsdaten der zuletzt betrachteten Charge werden wieder ausgegeben.
*WAF	Das Auftragsbild wird samt Auftragsdaten wieder vorgestellt, um z. B. eine Modifikation der Analyserestriktionen oder der gewählten Suchstrategie (siehe Abschnitt 6.3.1.) vorzunehmen.
*ZSA	Der Suchprozeß wird abgebrochen, ein Formular zur Übernahme der Auftrags- und Vormaterialeinsatzmenge für das Stahlwerk ausgegeben.

6.3. Entscheidungsablauf im Dialog

6.3.1. Wahl der Suchstrategie

Die Vorgehensweise bei der Vormaterialdisposition kann u. U. durch Vorgaben der Qualitätswirtschaft wesentlich beeinflußt werden.

So ist es z. B. denkbar, daß für einen bestimmten Auftrag

- nur Material aus der Basismarke und/oder
- nur Material aus einer Charge und/oder
- nur Material aus einer Vormaterialposition

verwendet werden darf.

Auf einen anderen Auftrag hingegen dürfen beispielsweise Lagerbestände unterschiedlicher Positionen und Chargen, gleichgültig ob aus der Basismarke oder aus Substitutionsmarken, zugeteilt werden.

Die mehr oder weniger strengen Materialrestriktionen führen zu einer Reihe möglicher Suchstrategien, wie sie Abbildung 6.3.1./1 in einer Übersicht zeigt.

Mit zunehmender Zahl der in Frage kommenden Bestandspositionen steigt auch der Dispositionsaufwand.

Damit der Benutzer bei bestimmten Strategien, z. B. dann, wenn einem Auftrag nur Material aus einer Charge oder aus einer Vormaterialposition zugeordnet werden darf, nicht mit Informationen, die in keinem Fall zur Zielerreichung führen können, unnütz belastet wird, wurden in das System Selektionsmechanismen eingebaut. Diese werden durch die Eingabe einer Strategienummer (zusammen mit den Auftragsdaten) aktiviert.

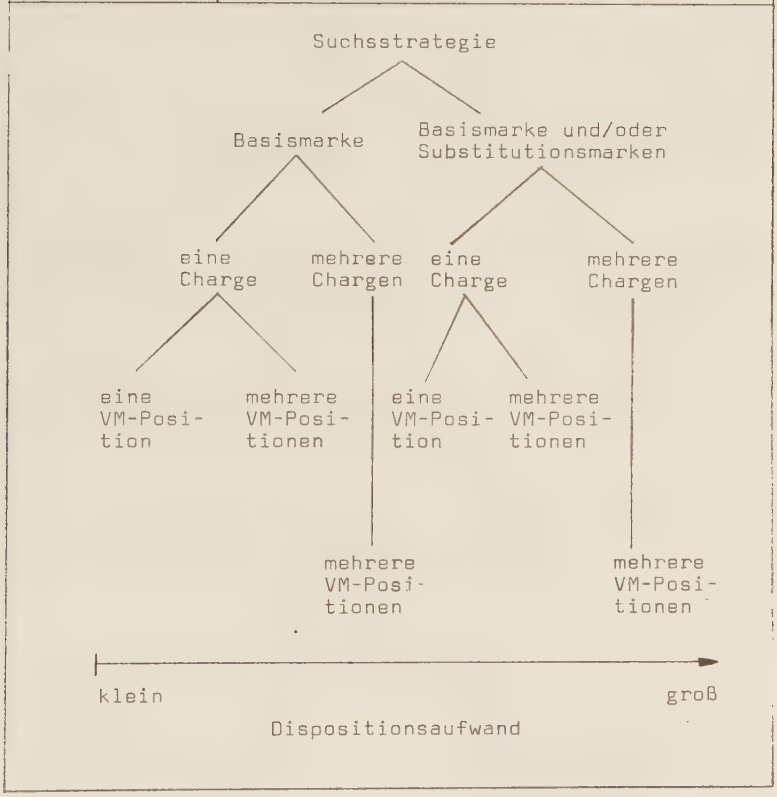
Strategie 1 bewirkt z. B., daß keine Chargen ausgewiesen werden, deren dispositives Gesamtgewicht kleiner ist als die wahrscheinlich benötigte Vormaterialeinsatzmenge. Die zweite Strategie verhindert die Ausgabe von Bestandspositionen, die die eben genannte Bedingung nicht erfüllen. Wird keine Strategienummer eingegeben, dann werden bei der Vormaterialrecherche nach und nach alle Bestände vorgestellt, gleichgültig, ob sie den Auftrag decken oder nicht.

Im Normalfall, d. h. dann, wenn auf einen Auftrag Materialien unterschiedlicher Dimension, Chargen und Marken zuteilbar sind, bleibt es dem Disponenten freigestellt, in welcher Reihenfolge er die einzelnen Strategien abarbeitet.

Zweckmäßig scheint hier aber eine "gemischte Strategie", bei der ausgehend von den Beständen der Basismarke mögliche Zuteilungsalternativen errechnet und zwischenge-

speichert sowie zulässige VM-Positionen vorgemerkt werden und dann die gleiche Vorgehensweise für die Bestände der Substitutionsmarken wiederholt wird.

Abb. 6.3.1./1	Strategien der Vormaterialdisposition



6.3.2. Dialogablauf bei "gemischter Strategie"

Im folgenden wird der allgemeine Ablauf der Vormaterialdisposition für die "gemischte Strategie" beschrieben.

Soweit sich gewisse Abläufe in verschiedenen Phasen wiederholen, werden sie nur einmal ausführlich behandelt. Ein Eindruck vom optischen Ablauf einer Dialogsitzung sei in diesem Zusammenhang dadurch vermittelt, daß einzelne Bilder eines praxisnahen Beispiels in die Beschreibung integriert werden. Aus Platzgründen ist die Auswahl der Bilder jedoch nur auf einige wenige beschränkt. Eingaben in das System sind durch eine Umrahmung gekennzeichnet.

Der Suchprozeß beginnt mit dem Vorstellen des leeren Auftragsformulars. Der Benutzer gibt die Auftragsdaten wie: gewünschte Marke, Profil, Abmessungen, Bestellgewicht mit zulässiger Gewichtstoleranz und Walzstraße/-gruppe ein; bei besonderen Qualitätsanforderungen zusätzlich noch die von der Qualitätsstelle vorgegebenen Analysenrestriktionen und/oder die Nummer der gewünschten Suchstrategie (Abbildung 6.3.2./1).

ABB. 6.3.2./1	AUSGABE DES LEEREN AUFTRAGS-FORMULARS - EINGABE DER AUFTRAGS-DATEN (EINSCHL. SUCHSTRATEGIE)

```
        BITTE GEBEN SIE DIE AUFTRAGSDATEN EIN.

7110    = NUMMER DER GEWUENSCHTEN MARKE
FLACH   = PROFIL
 55,..  = BREITE BZW. DURCHMESSER
 28,..  = HOEHE BZW. STAERKE
5000    = UNTERE LIEFERLAENGE
....    = OBERE LIEFERLAENGE
5000.   = BESTELLGEWICHT (KG)
2.      = ZUL. GEWICHTSTOLERANZ (IN PROZENT)
940     = WALZSTR/-GRUPPE

            ANALYSENRESTRIKTIONEN:
EL   VON    BIS            EL  VON    BIS
CR    25   ..,...          .. ..,... ..,...
..   ..,... ..,...         .. ..,... ..,...
..   ..,... ..,...         .. ..,... ..,...

..   SUCHSTRATEGIE
```

Mit Hilfe der Walzgruppennummer werden die Walzparameter in das System eingelesen und zur Kontrolle, Information bzw. Modifikation (z. B. Erhöhung des Standard-Revisionsfaktors) am Bildschirm vorgestellt. Sind am einzusetzenden Vormaterial und/oder Halbzeug Zusatzarbeitsgänge durchzuführen, dann wird an dieser Stelle noch der Befehl *ZAG eingegeben (Abbildung 6.3.2./2).

ABB. 6.3.2./2	AUSGABE UND MODIFIKATION DER WALZPARAMETER[1]

```
*ZAG
 FUER DEN EINGEGEBENEN AUFTRAG GELTEN
 FOLGENDE WALZRESTRIKTIONSDATEN:

 WSTR/GRUPPE PROFIL BREITE STAERKE L-VON L-BIS
   9   40    FLACH   128     68    2000  4000
 KUEHLBETTLAENGE IN METERN: 27

 DAS SYSTEM RECHNET MIT FOLGENDEN PARAMETERN:
  1,0  = WALZVERLUST (IN PROZENT)
 15,0  = REVISIONSENTFALL (IN PROZENT)
 40,0  = WALZKOSTENSATZ PRO MINUTE (IN DM)
  0,40 = SCHROTTERLOES JE KG (IN DM)
  0,15 = TOTZEIT JE KNUEPPEL (IN MINUTEN)

 WENN FUER DIESEN AUFTRAG ANDERE PARAMETER GEL-
 TEN, DANN UEBERSCHREIBEN SIE DIE ENTSPRECHEN-
 DEN FELDER MIT DEN GEWUENSCHTEN WERTEN.
 WAHLWEISE ZUSATZEINGABE:  *ZAG  (= ZEIGEN DER
 ZUSATZARBEITSGAENGE)
```

Die möglichen Arbeitsgänge werden ausgegeben, die relevanten vom Menschen ausgewählt und zum Rechner übertragen (Abbildung 6.3.2./3).

---

[1] Walzkostensatz, Schrotterlös und Totzeit je Knüppel wurden im Simulationsmodell bewußt als modifizierbare Parameter vorgesehen. Dadurch war es möglich, die Auswirkungen von Parameteränderungen auf die Ergebnisse der Halbzeugberechnung und Materialbewertung gezielt zu verfolgen.

ABB. 6.3.2./3	AUSGABE UND AUSWAHL DER ZUSATZARBEITSGÄNGE

```
04,15
 DIE EINZUSETZENDEN VORMATERIALIEN BZW.
 KNUEPPEL SOLLEN SPEZIELL BEARBEITET WERDEN.

 FOLGENDE ARBEITSGAENGE SIND MOEGLICH:

ROH- UND VORBLOECKE   I  HALBZEUG UND KNUEPPEL

 01  DREHEN           I  11  PUTZEN
 02  PUTZEN           I  12  ALLS. FLAEMMEN
 03  ALLS. FLAEMMEN   I  13  PUTZFLAEMMEN
 04  PUTZFLAEMMEN     I  14  ALLS. SCHLEIFEN
 05  ALLS. SCHLEIFEN  I  15  FEHLERSCHLEIFEN
                      I  16  ANSPITZEN EIN ENDE
                      I  17  ANSPITZEN ZWEI ENDEN

 EINGABE (2 STLG):  NR,NR,... DER DURCHZU-
 FUEHRENDEN ARBEITSGAENGE.
```

Dort werden zunächst die aktuellen Ausgangswerte für die Halbzeugberechnung und Bewertung festgelegt und die voraussichtliche Vormaterialeinsatzmenge errechnet.

Die Daten der gewünschten Marke werden eingelesen und das Analyseband im Falle einer Analysenrestriktion vom Rechner modifiziert. Sodann vergleicht die EDV die Ist-Analysen der in dieser Marke vorhandenen Chargen mit den gültigen Restriktionen. Chargen, die die geforderten Analysenbedingungen nicht erfüllen, werden im Arbeitsspeicher gelöscht. Ist keine der Chargen zulässig, wird am Bildschirm eine entsprechende Mitteilung mit dem Hinweis über alternative Vorgehensweisen ausgegeben. Angeboten wird die Fortsetzung der Recherche in den Ersatzmarken (*ZEM), eine eventuelle Änderung der eingegebenen Analysenrestriktionen (*WAF) oder das Beenden der Suche durch Erstellen eines Schmelzauftrages für die Stahlwerkplanung (*ZSA).

Zulässige Chargen werden zusammen mit den Markendaten und dem Richtwert für die voraussichtlich benötigte Vormaterialmenge in einem Übersichtsbild ausgegeben (Abbildung 6.3.2./4). Der Disponent gibt die Nummer jener Charge, die er im Detail sehen möchte, ein und erhält die Chargendaten zusammen mit deren Beständen und der voraussichtlich

erforderlichen Materialeinsatzmenge vorgestellt (Abbildung 6.3.2./5). Er prüft, ob das Material dieser Charge aus anderen Gründen (Abgußart, Herstellverfahren, abnorme Analyse), die bisher unberücksichtigt blieben, nicht doch noch verworfen werden muß. Ist dies der Fall, wird durch das Drücken der SEND-Taste das Markenbild wieder vorgestellt und eine andere Charge zur Detailbetrachtung ausgewählt.

ABB. 6.3.2./4	AUSGABE DER MARKENDATEN SAMT CHARGENÜBERSICHT.-EINGABE DER POSITIONSNUMMER DER GEWÜNSCHTEN CHARGE

```
2
MARKE: 7110  XC42
                    ANALYSE
      C       SI      MN      P       S       CR
VON 00,400  00,050  00,750  00,001  00,020  00,200
BIS 00,480  00,600  00,900  00,030  00,050  00,300

ERFORDERLICHE HALBZEUGMENGE (EHZ):   6484 KG

VORHANDENE ZULAESSIGE CHARGEN:
POS CHARGE  GEW. (KG)    POS CHARGE  GEW. (KG)
 1  912035     680        2  912159    2700
 3  910062    3600        4  912636    4750


GEBEN SIE DIE POSITIONSNUMMER DER GEWUENSCHTEN
CHARGE EIN.
```

ABB. 6.3.2./5	AUSGABE DER CHARGEN- UND BESTANDSDATEN.-EINGABE DER GEWÜNSCHTEN VORGEHENSWEISE

```
*VOR
                        MARKE: 7110  XC42
CHARGE: 912159    ABGUSSART: SM-STRANG
ANALYSE:
C : 0,420  SI: 0,180  MN: 0,640  P : 0,016
S : 0,028  CR: 0,270  NI: 0,070  MO: 0,000
V : 0,000  AL: 0,030  CU: 0,040
 EHZ:   6484 KG  AQ:FLACH  128 X 68
BESTAENDE:
NR  STK  PROFIL BREIT HOCH     LAENGE   GEWICHT
 1    1  4-KANT   240                     2700




EINGABE (1STLG):  1. EINE POS.NR  (=HBR),
2. *VOR,NR,NR,... 3. *VKO,NR,NR,...  4. NUR SEND.
```

Ist die Charge als solche für einen Auftrag zulässig, dann werden die einzelnen Bestandssätze näher betrachtet. Für mengenmäßig ausreichende Bestandspositionen kann sofort die Halbzeugberechnung gestartet werden, indem man die entsprechende Bestandsnummer eingibt. Die errechnete und bewertete Zuteilungsalternative wird ausgegeben, das Ergebnis analysiert.

Scheint es dem Benutzer für die Zuteilung geeignet, kann diese sofort realisiert, d. h. im Bestandssatz verbucht und protokolliert werden.

Im anderen Fall erfolgt auf Wunsch die Zwischenspeicherung der Alternative für die später folgende Phase der Auswahl einer optimalen Zuteilungsalternative.

Sind die vorhandenen Vormaterialpositionen der betrachteten Charge in der Menge nicht ausreichend, dann können diese über den Befehl *VOR und Kennzeichnung der entsprechenden Bestandsnummer für eine spätere Vormaterialkombination vorgemerkt werden (Abbildung 6.3.2./5), oder es wird sofort durch die Eingabe des Befehls *VKO und der entsprechenden Bestandsnummern eine neue Zuteilungsalternative in Form einer Vormaterialkombination errechnet. Das Ergebnis wird ausgegeben und wie oben zwischengespeichert oder sofort realisiert.

Wurden alle Bestände einer Charge überprüft, in den Entscheidungsprozeß mit einbezogen oder aus anderen Gründen als nicht geeignet angesehen, wird über SEND das Markenbild wieder vorgestellt, eine neue Charge ausgewählt, auf Zulässigkeit überprüft und deren Bestände in der eben beschriebenen Weise betrachtet (Abbildung 6.3.2./6).

ABB. 6.3.2./6	AUSGABE EINER NEUEN CHARGE MIT IHREN BESTANDSDATEN. - EINGABE DER GEWÜNSCHTEN VORGEHENSWEISE

```
*VOR
                          MARKE: 7110  XC42
CHARGE: 910062     ABGUSSART: SM-STRANG
ANALYSE:
C : 0,420  SI: 0,200  MN: 0,680  P : 0,014
S : 0,032  CR: 0,250  NI: 0,060  MO: 0,000
V : 0,000  AL: 0,026  CU: 0,050
 EHZ:    6484 KG  AQ:FLACH  128 X 68
BESTANEDE:
NR  STK  PROFIL BREIT HOCH     LAENGE   GEWICHT
 1    2  4-KANT   240           4000      3600

EINGABE (1STLG):  1. EINE POS.NR (=HBR),
2. *VOR,NR,NR,... 3. *VKO,NR,NR,... 4. NUR SEND.
```

Ist keine weitere Charge in einer Marke vorhanden, dann erfolgt in Abhängigkeit vom bisherigen Suchergebnis, das sich der Mensch in groben Zügen gemerkt hat, die weitere Vorgehensweise. Es besteht die Möglichkeit, sich die bisher vorgemerkten Bestände oder Zuteilungsalternativen zeigen zu lassen oder die Recherche in den Substitutionsmarken fortzuführen (Abbildung 6.3.2./7).

ABB. 6.3.2./7	AUSGABE UND AUSWAHL ALTERNATIVER VORGEHENSWEISEN

```
3
WOLLEN SIE

 1  DIE BISHER VORGEMERKTEN BESTAENDE

    ODER

 2  DIE BISHER ERMITTELTEN ZUTEILUNGS-
    ALTERNATIVEN BETRACHTEN

    ODER

 3  DIE SUCHE IN SUBSTITUTIONSMARKEN FORTSETZEN.

GEBEN SIE DIE GEWUENSCHTE VORGEHENSWEISE EIN.
```

Bei Fortsetzung der Vormaterialsuche in den Substitutionsmarken werden zunächst alle im Austauschverzeichnis gespeicherten Ersatzmarken einer Qualität in einem Übersichtsbild vorgestellt (Abbildung 6.3.2./8). Der Disponent gibt die Nummer jener Marke, deren Bestände er als erste betrachten möchte, in das System ein. Der Rechner erstellt aus dem (modifizierten) Analyseband der Basismarke und jenem der Ersatzmarke ein sogenanntes Überlappungsband und prüft, ob die Ist-Analysen der Chargen zulässig sind. Findet er keine brauchbaren, wird eine entsprechende Meldung ausgegeben (Abbildung 6.3.2./9), die Markenübersicht ausgewiesen und eine andere Substitutionsmarke bestimmt.

ABB. 6.3.2./8	AUSGABE UND AUSWAHL VON SUBSTITUTIONSMARKEN

```
[1]
    MARKE: 7110  XC42

  POS  ERSATZMARKE

   1  1171  46CR1
   2  1189  CK45
   3  1201  CM45
   4  0960  65SICR7
   5  2103  58SICR3



BITTE GEBEN SIE DIE GEWUENSCHTE POSITIONSNUMMER
  EIN
```

Führt die Marke hingegen zulässige Chargen, werden diese - analog zur Vorgehensweise in der Basismarke - im Markenbild vorgestellt. Der Benutzer wählt eine aus, überprüft die Chargendaten und Bestandssätze auf Zuteilbarkeit, führt u. U.

ABB. 6.3.2./9	MITTEILUNG, DASS SUBSTITUTIONS-MARKE KEINEN ZULÄSSIGEN BE-STAND AUFWEIST

```
MARKE: 1189  CK45                    (ERSATZMARKE FUER 7110)
                          ANALYSE
      C        SI        MN       P        S        CR
VON 00,420  00,150  00,600  00,001  00,001  00,250
BIS 00,500  00,350  00,800  00,030  00,035  00,320

ERFORDERLICHE HALBZEUGMENGE (EHZ):   6484 KG

VORHANDENE ZULAESSIGE CHARGEN:

     KEINE

   BITTE SEND
```

Vormerkungen durch oder veranlaßt die Errechnung einer Zuteilungsalternative (Abbildung 6.3.2./10).

Hat man alle Chargen einer Marke bewertet, wird vom Rechner wieder das Übersichtsbild der Substitutionsmarken ausgegeben, vom Disponenten die nächste Marke ausgewählt oder ein entsprechender Befehl eingegeben.

ABB. 6.3.2./10	AUSGABE DER ZUTEILUNGSALTERNA-TIVE IN EINER SUBSTITUTIONSMAR-KE.- EINGABE DER GEWÜNSCHTEN VOR-GEHENSWEISE

```
1
                                   AQ: FLACH  128X 68
 MARKE: 0960  65SICR7      CHARGE: 274847 BNR:  1

            ZUTEILUNGSMOEGLICHKEIT
     VORMATERIAL:        UMZUBLOCKEN AUF:

 STK PROF BREIT HOCH GEW KZL KGEW LNGE KR/VM RGEW
   4 V 15            1425  20  254 3840     0    0
   1 V 15            1425   4  254 3840  4025  266

  STABL.: 5000
  VERSCHNITT:    60 KG (=   1,0 PROZ.)
  AUFTRAGSDECKUNG(PROZ): 100
                                   RESTANFALL
  BEWERTUNGSZIFFER:    15,1


EINGABEMOEGLICHKEITEN:
1 = VORMERKEN, 2 = ZUTEILUNG, ANSONSTEN NUR SEND.
```

Wird z. B. der Befehl *ZVM eingegeben, dann prüft die EDV zunächst, ob überhaupt Bestände gespeichert sind. Wenn nein, erfolgt eine Meldung mit der Aufforderung, durch Code-Eingabe die weitere Vorgehensweise zu bestimmen. Sind hingegen Bestände vorhanden, dann werden diese in einem oder mehreren Übersichtsbildern ausgegeben (Abbildung 6.3.2./11).

ABB. 6.3.2./11	AUSGABE DER VORGEMERKTEN BESTÄNDE BEI GEMISCHTER STRATEGIE. - EINGABE DER GEWÜNSCHTEN VORGEHENSWEISE

```
04,05,06,07,08
  MARKE: 7110   XC42       (VORGEMERKTE BESTAENDE)
 EHZ:    6484 KG  AQ:FLACH  128 X 68
NR   CHARGE STK PROFIL BREIT HOCH  LAENGE GEWICHT
01   912159   1 4-KANT  240                 2700
02   910062   2 4-KANT  240         4000    3600
03   912636   5 4-KANT  240         2100    4750
   MARKE: 1201   CM45
04     28502   2 FLACH   210   180   2000    1090
05     28502   1  V 15                      1265
   MARKE: 0960   65SICR7
06   912767   2 4-KANT  240         4200    3648
07   912767   1 4-KANT  240                  777
08   912767   1 4-KANT  240         1900     810

EINGABE (2STLG):  1. *ALL (=VM-KOMB. MIT ALLEN
BESTAENDEN),  2. NR, NR,... (VM-KOMB. MIT AUS-
GEWAEHLTEN BESTAENDEN),  3. SEND (=VM-RECHERCHE).
```

Der Benutzer hat nun die Möglichkeit, aus der Gesamtmenge der vorgemerkten Vormaterialpositionen bestimmte auszuwählen und für diese die günstigste Vormaterialkombination errechnen zu lassen. Stellt sich heraus, daß aufgrund der Prämisse, daß in der Regel nicht mehr als drei verschiedene Bestände in eine Zuteilungsalternative aufgenommen werden dürfen, eine Auftragsdeckung nicht möglich ist, dann gibt das System eine entsprechende Meldung, verbunden mit der Aufforderung, den Kombinationsfaktor zu erhöhen, aus (Abbildung 6.3.2./12). Nach Übertragung eines größeren Faktors wird die Kombinationsrechnung wiederholt. Andernfalls gibt man einen Code betreffend die weitere Vorgehensweise ein oder läßt sich die Bestände nochmals vorstellen, um eine andere Materialzusammenlegung zu versuchen.

ABB. 6.3.2./12	AUSGABE EINER KOMBINATIONSMELDUNG. - EINGABE DER ERHÖHTEN KOMBINATIONSKLASSE

```
[5]
 AUS DEN  5 AUSGEWAEHLTEN BESTANDSPOSITIONEN
 GIBT ES KEINE KOMBINATIONSMOEGLICHKEIT MIT
  3 ELEMENTEN, DIE DAS BESTELLGEWICHT ERBRINGT
 (AUFTRAGSDECKUNG NUR 91 PROZENT).

 SIE KOENNEN JETZT:

  1. DEN KOMBINATIONSFAKTOR ERHOEHEN UND EINGEBEN

     ODER

  2. DIE VORMATERIALRECHERCHE FORTFUEHREN
     (EINGABE CODE *ZMD,  *ZCD  ODER  *ZZA).

 GEBEN SIE IHRE ANTWORT EIN,  DANN SEND.
```

Ist die Kombinationsrechnung ohne Schwierigkeiten abgelaufen, präsentiert der Rechner die ermittelte Zuteilungsalternative und der Mensch hat die Möglichkeit, sofort deren Realisierung oder Zwischenspeicherung zu veranlassen (Abbildung 6.3.2./13).

ABB. 6.3.2./13	AUSGABE DES ERGEBNISSES EINER KOMBINATIONSRECHNUNG. - EINGABE DER GEWÜNSCHTEN VORGEHENSWEISE

```
[1]
   MARKE: 7110  58SICR8          AQ: FLACH  128X 68
        ZUTEILUNGSMOEGLICHKEIT (VM-KOMB.)
           VORMATERIAL:            UMZUBLOCKEN AUF:
CHARGE BNR STK PROF BREIT HOCH GEW   KZL KGEW LNGE
912767   2   1 4-KT  240        810    3  254 3840
 28502   1   2 FLCH  210  180   545    4  254 3840
912767   3   2 4-KT  240       1824   14  254 3840
912767   1   1 4-KT  240        777    3  254 3840



  STABL: 5000
  VERSCHNITT:  140 KG (=   2,4 PROZ.)
  AUFTRAGSDECKUNG(PROZ): 100
  BEWERTUNGSZIFFER:   15,6

EINGABEMOEGLICHKEITEN:
1 = VORMERKEN, 2 = ZUTEILUNG, ANSONSTEN NUR SEND.
```

Auf diese Weise lassen sich für verschiedene Zuordnungsalternativen, deren Zulässigkeit der Mensch bestimmt, bewertete Zuteilungsmöglichkeiten errechnen. In diesem Zusammenhang kann man auch bewirken, daß durch die Eingabe des spezifischen Befehls *ALL alle gespeicherten Materialbestände in einer Kombinationsrechnung berücksichtigt werden.

Hat man bereits eine Reihe von Zuteilungsalternativen ermittelt, von denen man meint, daß sie relativ gut für eine Realisierung geeignet wären, dann kann man sich über den Befehl *ZZA alle Alternativen mit den wichtigsten entscheidungsrelevanten Daten (Marke, Verschnitt, Auftragsdeckung, Bewertungszahl) in einem Übersichtsbild vorstellen lassen und miteinander vergleichen (Abbildung 6.3.2./14). Reicht dieser globale Vergleich für eine Entscheidung nicht aus, dann werden über Parametereingabe die interessantesten Alternativen nochmals im Detail ausgewiesen.

ABB. 6.3.2./14

AUSGABE EINER GLOBALÜBERSICHT ÜBER DIE BISHER ERMITTELTEN ZUTEILUNGSALTERNATIVEN

ZUTEILUNGSALTERNATIVEN:

NR.	MARKE	CHARGE	AUFTRDECKG. IN PROZENT	VERSCHN. IN PROZENT	WERTUNGS ZIFFER
01	VM-KOMBINATION		101	18,2	16,8
02	65SICR7	274847	100	1,0	15,1
03	65SICR7	912767	101	3,0	16,3
04	60SICR7	912624	100	17,9	17,2
05	58SICR8	011657	100	4,2	16,0
06	58SICR8	011657	100	2,1	15,5
07	VM-KOMBINATION		100	2,4	15,6
08	VM-KOMBINATION		99	1,3	15,4

EINGABEN: 1. NR,NR... (2STLG) BZW.*ALL = VORSTELLEN DER ALTERNATIVEN IM DETAIL, 2. SEND (=VM-SUCHE).

Scheinen dem Benutzer die bisher ermittelten Zuteilungsmöglichkeiten noch nicht ausreichend, kann er die Suche in Abhängigkeit von den bisher verfolgten Strategien durch Eingabe der Codes *ZMD, *ZCD, *ZEM, *ZVM gezielt fortsetzen.

Entschließt er sich schließlich doch für die Realisierung einer bestimmten Zuteilungsalternative, dann wird durch Eingabe eines Kennzeichens die Abbuchung vom Bestand veranlaßt und ein Zuteilungsprotokoll ausgegeben.

Das System löscht selbständig alle Zwischenspeicher und Arbeitsfelder und gibt das leere Auftragsformular für die Bearbeitung des nächsten Auftrages am Bildschirm aus.

6.3.3. Diagramm des Entscheidungsablaufes

Die vollständige Ablauflogik mit allen Suchstrategien ist in Abbildung 6.3.3./1 zusammenfassend dargestellt.

Die Buchstaben A bzw. E in den Bildschirm-Symbolen bedeuten, daß eine Information vom Rechner ausgegeben bzw. in den Rechner übertragen wird. A/E stellt eine verkürzte Darstellung der genannten Informationsbewegungen dar.

Abb. 6.3.3./1 Entscheidungsablauf im Gesamtsystem

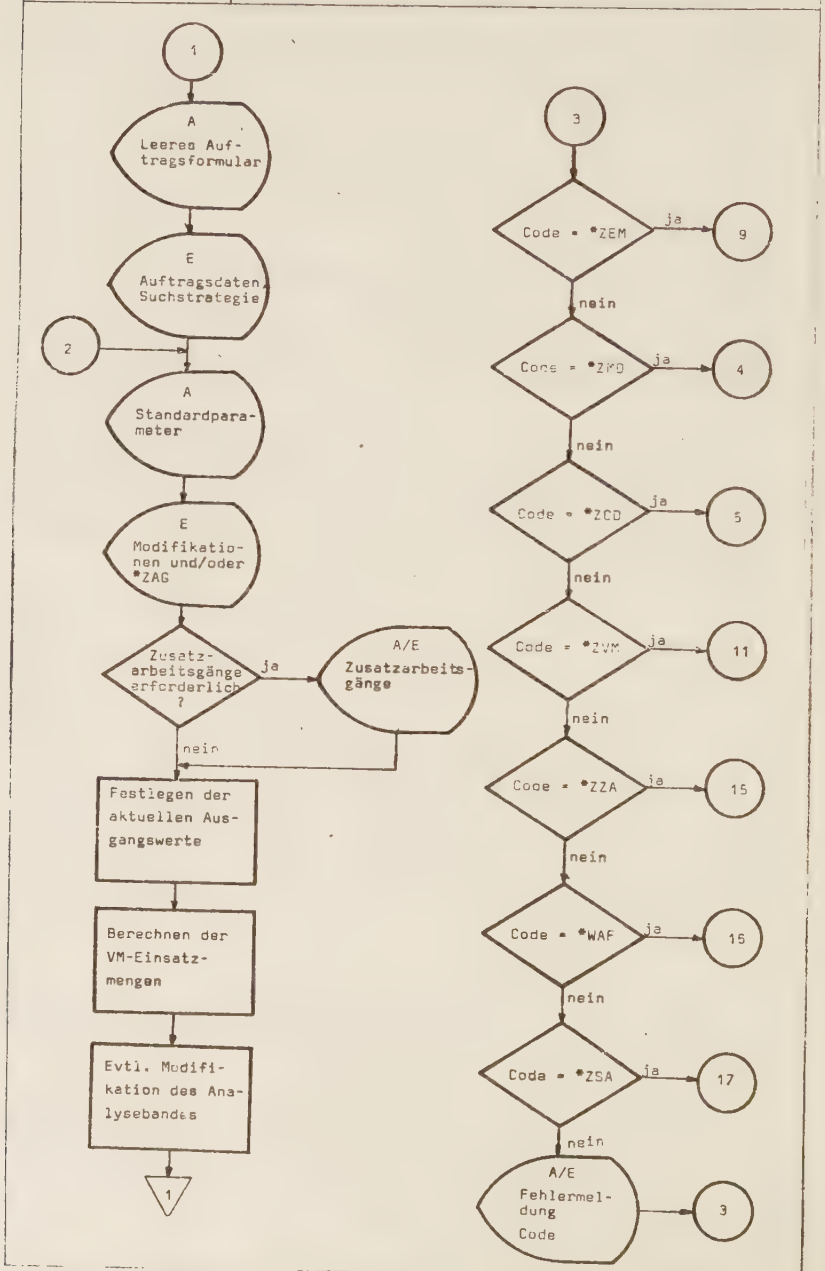


Abb. 6.3.3./1 Entscheidungsablauf im Gesamtsystem Fortsetzung

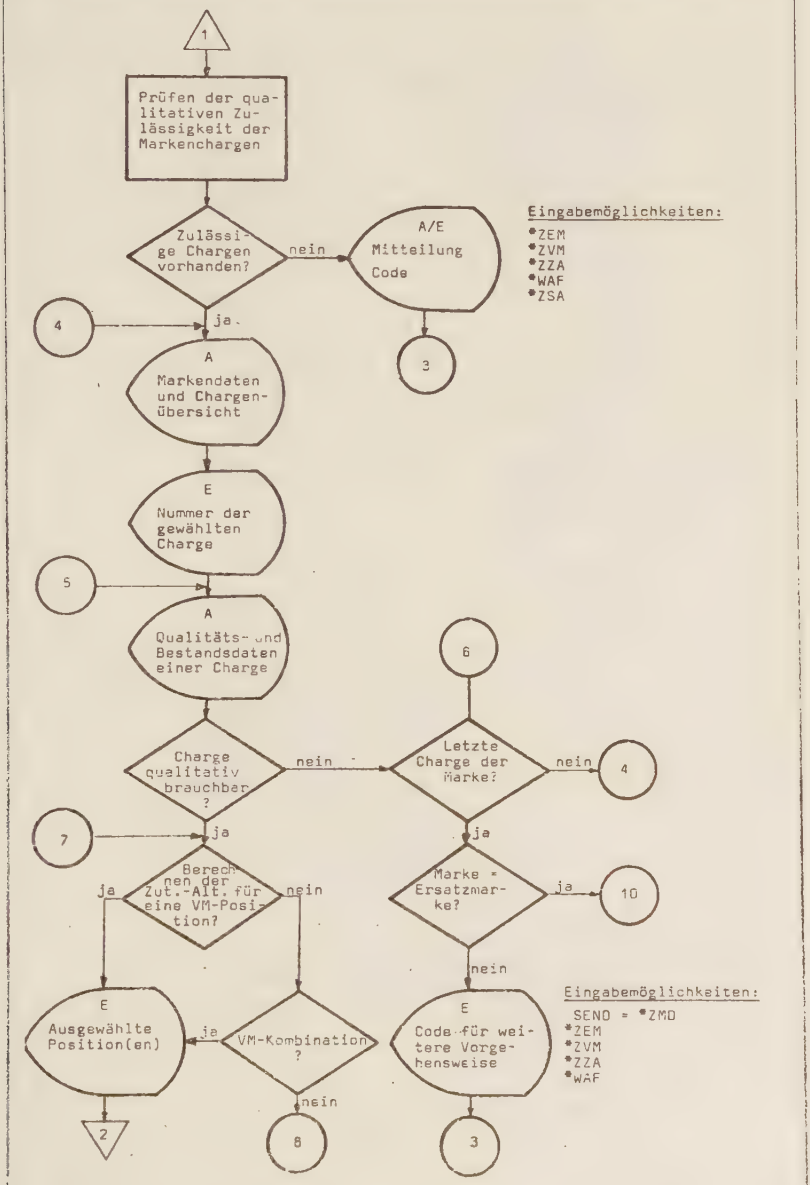


Abb. 6.3.3./1	Entscheidungsablauf im Gesamtsystem Fortsetzung

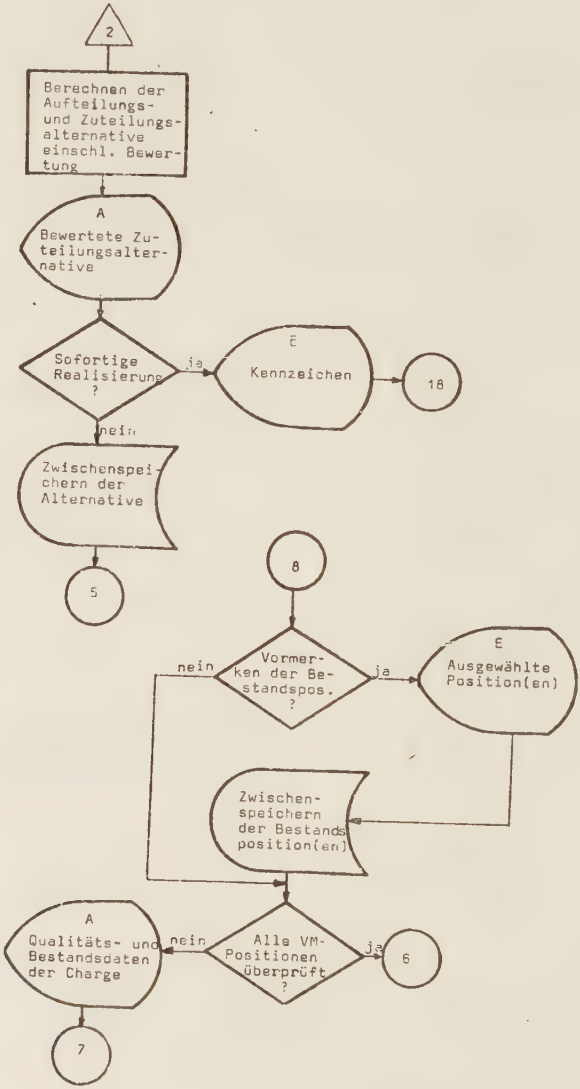


Abb. 6.3.3./1	Entscheidungsablauf im Gesamtsystem Fortsetzung

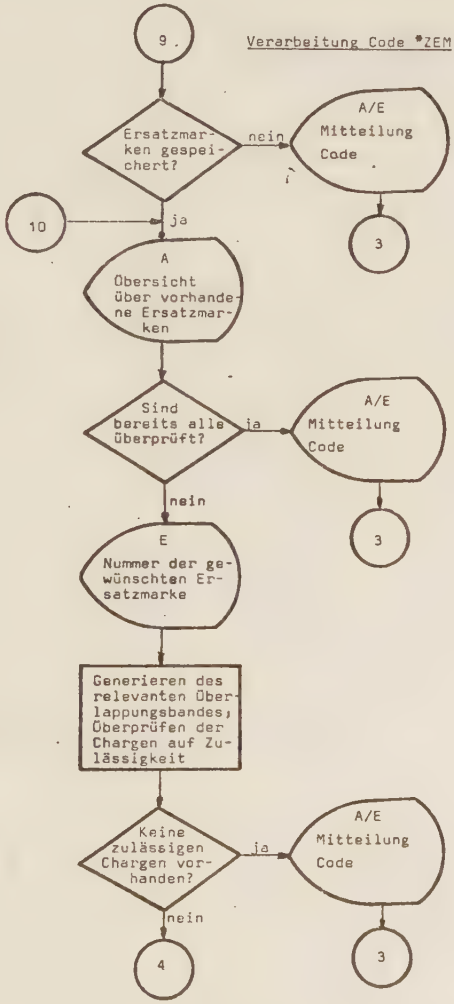


Abb. 6.3.3./1 Entscheidungsablauf im Gesamtsystem Fortsetzung

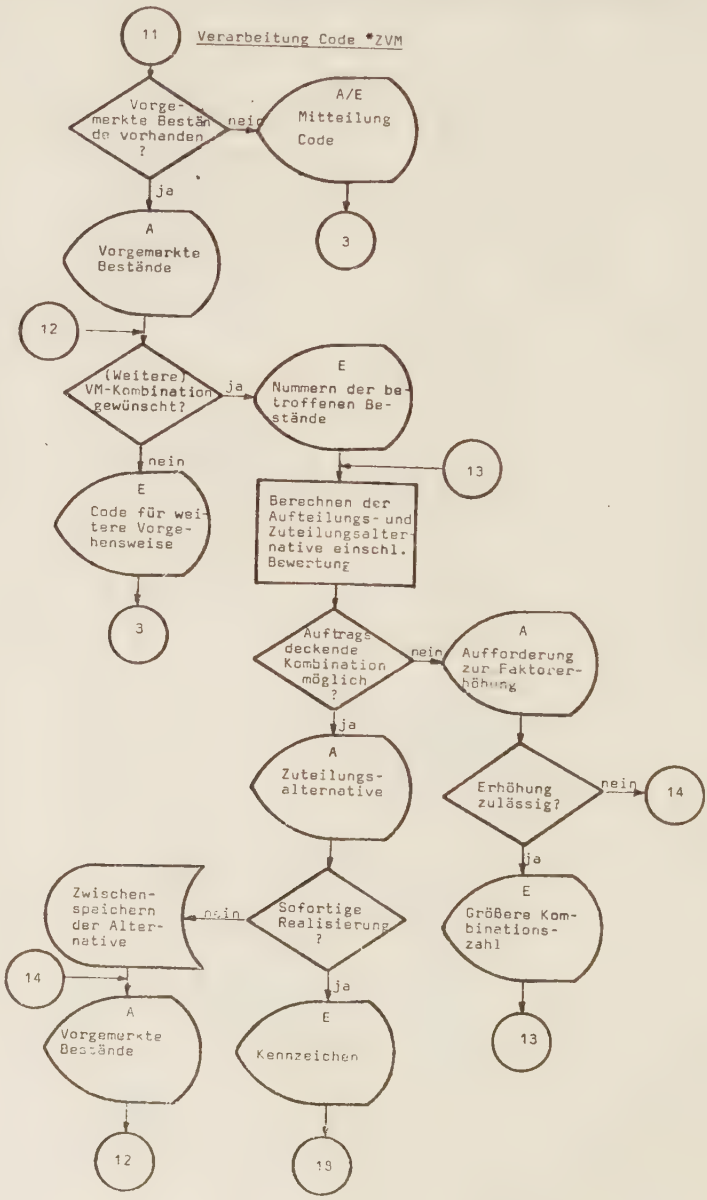


Abb. 6.3.3./1	Entscheidungsablauf im Gesamtsystem Fortsetzung

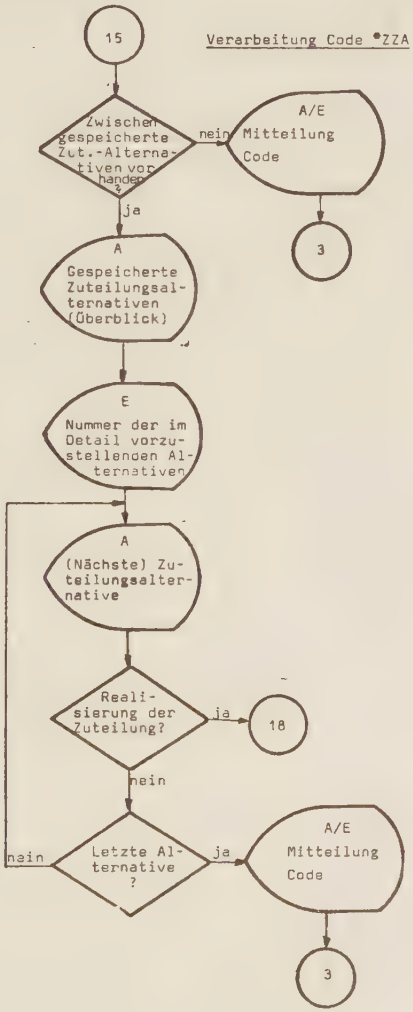
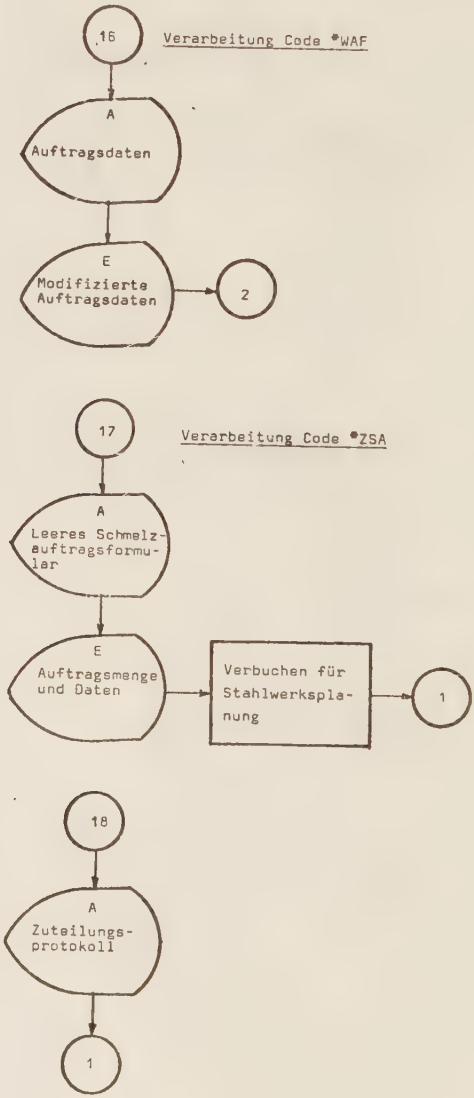


Abb. 6.3.3./1	Entscheidungsablauf im Gesamtsystem Fortsetzung



7. Nutzeffektabschätzungen

In diesem Abschnitt wird versucht, den Nutzen, der sich durch die Integration des in Abschnitt 5. beschriebenen Bausteins in das um einige Dispositionshilfen erweiterte Administrationssystem erzielen läßt, vorsichtig abzuschätzen.

Die Aussagen stammen - soweit sie die Verbesserung der eigentlichen Dispositionsentscheidungen betreffen - zum Teil aus dem Vergleich von praktischen Zuteilungsentscheidungen mit den Ergebnissen aus Simulationsläufen. Daneben werden aber auch reine Simulationsläufe ausgewertet und entsprechende Nutzeffekte abgeleitet.

Die Betrachtungen basieren auf folgendem, in der Praxis erhobenen Datenmaterial (vgl. Abschnitt 4.2.3.1.):

- Die monatliche Gesamtwalzmenge der betroffenen Walzstrassen beträgt 24.000 Tonnen. Vereinfachend wird angenommen, daß die einzusetzende Vormaterialmenge gleich groß ist.

- Von den täglich abzuwickelnden 240 Aufträgen werden ca. 60 % (150) aus lagerndem Vormaterial gedeckt, für den Rest (90) wird neu erschmolzenes Material verwendet.

- Das Verhältnis zwischen Aufträgen mit fixer Stablänge und jenen mit variabler ist 1:1.

- Ca. 15 % der gespeicherten Lagerbestandsdaten werden aufgrund betrieblicher Gegebenheiten so ungenau erfaßt, daß die auf diesen Daten in der Dispositionsrechnung ermittelten optimalen Entscheidungen bei der realen Auftragsabwicklung (Fertigung) nicht erzielt werden können. Weil diese Bestände im Vergleich zur manuellen Vorgehensweise gleich schlecht bewertbar sind, werden sie in der Folge als nutzenneutral angesehen.

In einer ersten Phase der Nutzenschätzung wurde untersucht, ob sich bei reiner Mengenbetrachtung des Verschnitts und ohne Berücksichtigung der entscheidungsrelevanten Kostenkomponenten durch die maschinelle Halbzeugberechnung eine Verbesserung der Zuteilungsentscheidungen erreichen läßt. Zu diesem Zweck wurden in der Praxis realisierte Zuteilungsalternativen ausgewählt und mit dem entwickelten System nachgerechnet. Dabei ergaben sich, wahrscheinlich bedingt durch den Einsatz von Knüppelrestlängen, zum Teil andere Aufteilungsvorschläge, verbunden mit einer Ausbringungsverbesserung bis zu 10 %, im Durchschnitt jedoch von 1,5 %.

Eine bessere Ausbringung durch Verringerung des Verschnitts bedeutet eine geringere Materialeinsatzmenge im Walzwerk und Freisetzung von Kapazitäten.

Nimmt man unter pessimistischen Gesichtspunkten an, daß langfristig die Ausbringungsverbesserung bei 0,5 % liegt, dann ergibt sich daraus ein erzielbarer monatlicher Materialmindereinsatz im Walzwerk, bezogen auf die gesamte Walzmenge, von ca. (24.000 - 2.160) x 0,005 = 110 Tonnen. Die in dieser Rechnung nicht berücksichtigte Materialmenge von 2.160 Tonnen betrifft jenes Lagermaterial, das monatlich wohl zugeteilt wird, aber aufgrund der Datenungenauigkeit zu keinen optimalen Ergebnissen führt.

Für den Fall nicht voll ausgelasteter Kapazitäten ist dieser Materialmindereinsatz mit dem Differenzbetrag aus variablen Reproduktionskosten und erzielbarem Schrotterlös zu bewerten. Unter der Annahme, daß der entsprechende Bewertungssatz 80,- DM je Tonne beträgt, lassen sich allein dadurch monatliche Kosteneinsparungen von 8.800,- DM erzielen.

Setzt man volle Kapazitätsauslastung voraus, dann zeigt sich bei einer vergleichenden Gegenüberstellung beider Dispositionsalternativen (mit und ohne Baustein Halbzeugberechnung) noch ein weiterer Nutzeffekt. Man hat hier die Möglichkeit,

die durch die Verschnittreduzierung freigewordene Kapazität zur Durchführung weiterer Aufträge heranzuziehen, wodurch dem System als weiterer Nutzen die dadurch entstehenden Deckungsbeiträge zuzurechnen sind.

Unterstellt man, daß der Verkaufserlös je Tonne Walzfertigprodukt im Durchschnitt 1.200,- DM beträgt und die Deckungsbeitragsspanne - aufgrund der relativ hohen Fixkostenbelastung in der Stahlindustrie - bei 40 % liegt, dann führt der Einsatz des Systems nochmals zu einem Nutzen von ca. 48.000,- DM pro Monat.

Ziel des maschinellen Dispositionssystems ist jedoch nicht ausschließlich Verschnittminimierung, sondern die optimale Verwendung des Lagermaterials.

Zur Abschätzung, welche Nutzeffekte sich aus der optimalen Zuteilung erzielen lassen, wurde für eine Reihe von Beispielen, für die im Durchschnitt sechs Zuteilungsalternativen zur Auswahl standen, in Simulationsläufen die Bewertung durchgeführt. Anschließend haben wir mit Hilfe von Zufallszahlen jene Alternative festgelegt, die der Disponent im manuellen System realisiert hätte. Die je Auftrag "manuell" ermittelte Zuteilungalternative wurde mit der optimalen hinsichtlich der anfallenden Zuteilungskosten (vgl. zu deren Definition Abschnitt 4.3.2. und 5.2.4.4.) je Tonne verglichen. Hier zeigt sich eine Abweichung vom Optimum bis maximal 12 %, im Durchschnitt von 4 %. Die Absolutwerte schwankten zwischen 0 und 20 DM je Tonne.

Für die Bewertung wird bei dieser Betrachtung nur Lagermaterial - reduziert um jene Bestände, die aufgrund der Datenungenauigkeit nicht zu optimalen Ergebnissen führen - herangezogen. Darüber hinaus wird angenommen, daß - anders als in der Simulation durch Heranziehen von Zufallszahlen dargestellt - die Disponenten von sich aus in 20 % der Entscheidungssituationen aufgrund ihrer Erfahrung die Zuteilung der optimalen Alternative veranlassen würden. Folglich werden auch die diesem Prozentsatz entsprechenden Lagerbestände von der Nutzeffektschätzung ausgeklammert. Der verbleibende dispositive Lagerbestand beträgt dann knapp 10.000 Tonnen.

Bewertet mit einem pessimistisch geschätzten Einsparungssatz von durchschnittlich 2,- DM je Tonne betragen dann die gesamten monatlichen Einsparungen (einschließlich des zu berücksichtigenden Verschnitts) ca. 20.000,- DM.

Neben diesen reinen Dispositionseffekten, die bei einer Implementierung des Bausteins zu erwarten sind, ist auch damit zu rechnen, daß Personal freigesetzt werden kann. So wird die Materialbedarfsplanung (Halbzeuganforderung), die gegenwärtig ein Sachbearbeiter ganztägig durchführt, in Zukunft nicht mehr isoliert abgewickelt. Jeder Disponent erhält während des Entscheidungsprozesses vom Rechner die voraussichtliche Materialeinsatzmenge und die erforderliche Knüppeldimension am Bildschirm vorgestellt.

Schließlich ist langfristig damit zu rechnen, daß durch den EDV-Einsatz der zeitliche Dispositionsaufwand soweit reduziert wird, daß sich auch hier ein Sachbearbeiter für anderweitige Aufgaben freisetzen läßt. Bei einer Bewertung des Personalaufwandes je Mitarbeiter mit 3.000,- DM monatlich führt das maschinelle Dispositionssystem hier nochmals zu Einsparungen vom 6.000,- DM.

Zur Kostenbelastung gelten folgenden Überlegungen:
Geht man davon aus, daß die Verfahrensentwicklung, die im Rahmen eines Forschungsprojektes durchgeführt wurde, unentgeltlich erfolgte, dann sind für die Übernahme der in COBOL geschriebenen Programme und die Installation der zusätzlich noch benötigten Dateien einschließlich des noch erforderlichen Datenerhebungsaufwandes ca. 2,5 Mannjahre à 40.000,- DM, insgesamt also 100.000,- DM anzusetzen. Dabei wird berücksichtigt, daß im Walzwerksbereich des untersuchten Unternehmens in der Vergangenheit durch die Einführung eines relativ differenzierten Richtkostenkalkulationssystems auf Teil- und Vollkostenbasis schon erhebliche Vorleistungen erbracht wurden.

Schätzt man die Lebensdauer des Anwendungssystems auf sechs Jahre, dann betragen die monatlichen Abschreibungsquoten des einmaligen Umstellungsaufwandes ca. 1.400,- DM.

Durch die Imlementierung des Systems ist eine sprunghafte Steigerung der Rechnerbelastung zu erwarten. Bei der eingangs skizzierten Auftragsstruktur und unter der Annahme, daß durchschnittlich je Auftrag sechs Zuteilungsalternativen ermittelt werden, muß mit einem zusätzlichen Rechenzeitbedarf von ca. acht CPU-Stunden pro Monat gerechnet werden. Dabei setzen wir im Vergleich zum CD-Rechner einen Leistungsfaktor von 2,5 voraus. Die Bewertung dieser Rechenzeit mit einem internen Verrechnungssatz vom 1.000,- DM je CPU-Stunde führt zu einer Kostenbelastung von 8.000,- DM.

Für eine eventuell erforderliche Systemerweiterung, zusätzliche Plattenspeicherbelegung u.ä. werden nochmals 2.500,- DM pro Monat veranschlagt.

Eine Gegenüberstellung der Nutzen- und Kostenelemente aus der eben durchgeführten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für den Fall nicht voll ausgelasteter Kapazitäten zeigt Abbildung 7./1.

Abb. 7./1	Wirtschaftlichkeitsrechnung bei System-Implementierung	
Monatliche Einsparungen:	DM	DM
Zuteilungskosten (Lager-, Transport-, Walz- und Verschnittkosten)	20.000,-	
Personalfreisetzung	6.000,-	
Summe		26.000,-
Monatliche Kosten:		
Anteiliger Implementierungsaufwand	1.400,-	
Rechenzeit	8.000,-	
Sonstiges	2.500,-	
Summe		11.900,-
Gesamter quantifizierbarer Nutzen/Monat		14.100,-

Bei knappen Kapazitäten erhöht sich der quantifizierbare Nutzen noch um die - bereits vorhin erwähnten - zusätzlich erzielbaren Deckungsbeiträge von ca. 48.000,- DM.

8. Zusammenfassung

Bei der Zuteilung von Vormaterialien auf Kundenaufträge in der Edelstahlindustrie treten Problemstrukturen auf, für deren Lösung sich der Einsatz der Mensch-Maschine-Kommunikation anbietet.

Die Analyse der Aufgabenstellung der Abteilung Produktionsplanung eines Unternehmens der Stahlindustrie ergab, daß zur Verbesserung der Entscheidungsfindung den Disponenten Hilfen anzubieten sind, die neben rein qualitativen auch quantitative Aspekte des Zuteilungsprozesses betreffen. Zu den letzteren zählt vor allem die Durchführung der Halbzeugberechnung und die Bewertung von Zuteilungsalternativen.

Es wird eine ausführliche Analyse der die Halbzeugberechnung und Vormaterialbewertung determinierenden Mengen- und Bewertungsdaten bzw. -parameter durchgeführt. Darauf aufbauend wird ein Lösungsvorschlag entwickelt, der das Mengen- und Bewertungsproblem bei der Ermittlung der optimalen Zuteilungsalternative als Dialogbaustein zu lösen imstande ist.

Den Schwerpunkt dieses Bausteins bilden Algorithmen, die die Aufteilung von Vormaterialien in einsetzbares Halbzeug sowohl unter Berücksichtigung der relevanten Auftrags-, Walzrestriktions- und Vormaterialdaten als auch unter Berücksichtigung der dabei ins Kalkül zu ziehenden entscheidungsrelevanten Kosten erlauben. Der Fall, daß auf einen Auftrag A in der Dimension unterschiedliche Bestandspositionen zuteilbar sind, von diesen A Positionen jedoch nur B ($B < A$) zugeordnet werden dürfen, wird durch spezielle Kombinationsalgorithmen, die mit vertretbarem Aufwand zum gewünschten Ergebnis führen, gelöst.

Das Ergebnis dieser Moduln ist letztlich neben einem Umblockvorschlag, der dem Walzwerk als Arbeitsanweisung dienen kann, eine übersichtliche und vergleichbare Bewertungszahl für jede Zuteilungsalternative.Gerade letztere ist während des Entscheidungsablaufs ein wichtiges Kriterium zur Auswahl der optimalen Zuteilungsalternative.

Das für die Praxis konzipierte Dialog-Gesamtsystem wurde für Testzwecke mit seinen wesentlichen Funktionen in etwas vereinfachter Form auf dem Universitätsrechner als Simulationsmodell implementiert. Dieses Dialogsystem läßt sich als Sklavensystem typisieren. Die mit praxisnahen Daten durchgeführten Entscheidungsabläufe führten zu überwiegend positiven Ergebnissen, vor allem auch was die Reaktionszeiten des Systems betrifft.

Eine unter pessimistischen Annahmen durchgeführte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ergab, daß die Einführung des maschinellen Dispositionssystems mit größter Wahrscheinlichkeit zu Kosteneinsparungen im Vormaterialbereich führt.

Anhang

Zusammenfassung der verwendeten Symbole.

ABAF	Breite des Fertigproduktes
ABBF	Höhe des Fertigproduktes
ABMA	Breite des Knüppels
ABMB	Höhe des Knüppels
AD	Auftragsdeckung
AGF	Arbeitsgangfaktor
AGK	Arbeitsgangkosten
AGKS	Arbeitsgangkostensatz
AMAV	Breite des Vormaterials
AMBV	Höhe des Vormaterials
AK	Aufteilkosten
AUKO	Kosten einer Vormaterialaufteilungsalternative
BEABZ	Bearbeitungszustand des Vormaterials
BG	Bestellgewicht
BZAHL	Bewertungszahl
EM	Erschmelzungsgewicht
EK	Erschmelzungskosten
EKS	Erschmelzungskostensatz
ES	Endenschrott
FEHLM	Fehlmenge
FWK	Fertigwalzkosten
GFM	Millimetergewicht des Fertigmaterials
GHM	Millimetergewicht des Halbzeugs
GPOS	Gewicht der Vormaterialposition
GVS	Gesamtverschnitt
GVSD	dispositiver Gesamtverschnitt
HEG	Halbzeugeinsatzmenge
HZM	Halbzeugmenge vor Zusatzarbeitsgang
HZS	Halbzeugstrang
K,K1,K2	Parameter
KBL	Kühlbettlänge
KG	Knüppelgewicht
KL	Knüppellänge
KGMAX	maximales Knüppelgewicht
KGMIN	minimales Knüppelgewicht
KRG	Knüppelrestgrenze
KR	Knüppelrest
KZ,KZ1,$\overline{KZ}$	Knüppelzahl
LFO	obere Stablänge
LFS	errechnete Stablänge
LFU	untere Stablänge
LHO	obere Knüppellänge
LHU	untere Knüppellänge
LK	Lagerkosten
LKS	Lagerkostensatz
LM	nutzbare Liefermenge
LP	Lagerperioden
LZ	Leerzeit
LZK	Leerzeitkosten
LZKS	Leerzeitkostensatz

MNR	Markennummer
ME	Mengeneinheit
M1	Zwischengewicht
PRKZ	Profil des Vormaterials
PROF	Profil des Auftrages
PROKZ	Profil des Halbzeugs
QF	Querschnitt des Fertigproduktes
QG	Qualitätsgruppe
QH	Querschnitt des Halbzeugs
QVM	Querschnitt des Vormaterials
R	Verformungsgrad
REM	Rohblockeinsatzmenge
REVF	Revisionsfaktor
RG	Rückliefergrenze
RGG	Rückliefergrenzgewicht
RK	Reproduktionskosten
RLG	Rückliefergewicht
SE	Schrotterlös pro ME
SER	gesamter Schrotterlös
SG	Stabgewicht
SGMAX	maximal zulässiges Stabgewicht
SGMIN	minimal zulässiges Stabgewicht
SK	Schneidekosten
SKS	Schneidekostensatz
STK	Anzahl der Vormaterialien
STKGEW	Gewicht eines Vormaterials
SZ,SZ1,SZ2	Stabzahl
TD	Dispositionsdatum
TOLF	Gewichtstoleranzfaktor
TK	Transportkosten
TKS	Transportkostensatz
TWV	Materialwiederverwendungszeitpunkt
UK	Umblockkosten
VEM	Vormaterialeinsatzmenge
VM	Vormaterial
VKF	Vergleichskostenfeld
VKO	Vergleichskostenwert
VS	Verschnitt
VSKO	Verschnittkosten
VSPROZ	Verschnittprozentsatz
VZ,VZ1	Anzahl der Vormaterialien
W	Iterationsweite
WAGRU	Walzgruppe
WKSF	Fertigwalzkoster
WKSU	Umblockkostensatz
WM	Walzmenge
WMMAX	maximale Walzmenge
WMMIN	minimale Walzmenge
WVF	Fertig-Walzverlustfaktor
WVU	Umblock-Walzverlustfaktor
ZUKO	Zuteilungskosten
ZVS	Zwangsverschnitt

Literaturverzeichnis

Autorengruppe (Bermann, R., Mertens, P., Pree, F., van Recum, L., Rosenkranz, R., Ruppenthal, R., Saynisch, H.-J., Schönlein, D. H., Schröder, M., Szielasko, H., Weber, K., Zierau, H. J. und Zwirner, H.), Einsatz der Mensch-Maschinen-Kommunikation zur Verwaltung von Edelstahl-Vormaterialbeständen - Teil I, Angewandte Informatik 16 (1974) 6, S. 269 ff.

Billen, H. H., Sandhöfer, K.-H. und Steinecke, V., Der Einfluß der Walzlosgröße auf die Umwandlungskosten vollkontinuierlicher Feinstahlstraßen, Zeitschrift für Betriebswirtschaft 33 (1963), S. 465 ff.

Billen, H. H. und Sandhöfer, K.-H., Verbesserungen durch Ausbau und Rechnereinsatz in einem Profilwalzwerk erster Hitze, Stahl und Eisen 92 (1972) 26, S. 1324 ff.

Bormann, C., Die Lagerhaltung von Walzstahlfertigerzeugnissen und ihr Einfluß auf Produktion, Absatz und Ergebnis, Dissertation, Berlin 1969, S. 46 ff.

Franke, R., Betriebsmodelle, Düsseldorf 1972.

Gerhard, C., Gedanken zur Lösung des Knapsack-Problems, Ablauf- und Planungsforschung 11 (1970), S. 69 ff.

Gerhard, C. und Tilanus, C. B., Das Knapsackproblem, Anmerkungen und Erweiterungen, in: Jacob, H., Pressmar, D. B., Todt, H. und Zimmermann, H. J. (Hrsg.), Proceedings in Operations Research 2, Würzburg-Wien 1973, S. 105 ff.

Hessling, R. und Richter, H., Auftragsabwicklung für ein Blechwalzwerk, IBM Nachrichten 25 (1975) 224, S. 47 ff.

Ibach, G., Herstellungskosten an Stabstahlstraßen beim Auswalzen von Edelstahl in Abhängigkeit von Leistung und Losgröße, Stahl und Eisen 89 (1969), S. 743 ff.

Kahnis, W., Probleme der Produktionsplanung für eine Stabstahlstraße, Dissertation, Clausthal 1971.

Kösters, F., Keese, W., Kress, K.-H. und Obelode, G., Einsatz einer Datenverarbeitungsanlage an einer halbkontinuierlichen Mittelstraße, Stahl und Eisen 91 (1971) 8, S. 417 ff.

Krebs, P., Optimierung der Belegung verschiedener Walzstrassen mit Hilfe der EDV, Diplomarbeit, München 1969.

Maak, H., Gedanken zum zweidimensionalen Verschnittproblem, IBM-Form 78 109.

Mertens, P., Industrielle Datenverarbeitung, Band 1: Administrations- und Dispositionssysteme, 2. Aufl., Wiesbaden 1972, S. 199 ff.

Mertens, P. und Griese, J., Industrielle Datenverarbeitung, Band 2: Informations- und Planungssysteme, Wiesbaden 1972, S. 23 f.

Mertens, P. und Kress, H., Mensch-Maschinen-Kommunikation als Hilfe bei der Entscheidungsvorbereitung und Planung, Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung 22 (1970) 1, S. 9 ff.

Meyer, M., Hansen, K. und Rohde, M., Mathematische Planungsverfahren I, Essen 1973, S. 78 ff.

Müller-Merbach, H., Operations Research, 3. Aufl., München 1974, S. 175, S. 256 f. und S. 334 ff.

Roschmann, K., Elektronische Fertigungsüberwachung - Betriebsdatenerfassung, Stuttgart-Berlin 1974.

Schönlein, D. H., Qualitative Chargenauswahl als Teil einer Mensch-Maschine-Kommunikation zur Unterstützung von Zuteilungsprozessen in der Edelstahlindustrie, Dissertation, Nürnberg 1974.

Schröder, M., Die Einsatzmöglichkeiten der Mensch-Maschinen-Kommunikation in der Lagerdisposition der Edelstahlindustrie, Diplomarbeit, Linz 1970.

Schröder, M., Einsatz der Mensch-Maschinen-Kommunikation in der Edelstahlindustrie - Disposition von Vormaterialbeständen und Prognose der Verweilzeit, Dissertation, Nürnberg 1974.

Wladika, H. und Obelode, G., Ein automatisches Informationssystem zur Auftragsabwicklung in einem Warmbreitbandwalzwerk, Stahl und Eisen 87 (1967) 25, S. 1322 ff.

Wagner, Ch., Baumann, H. G. und Schenck, H., Technisch-wirtschaftliche Möglichkeiten der Herstellung von Stahlbrammen durch Blockgießen und Walzen unter besonderer Berücksichtigung der betrieblichen Verarbeitungskosten, Stahl und Eisen 95 (1975) 15, S. 697 ff.

Wünnemann, H., Ausbringens- und Leistungsverbesserung an Profilstraßen durch Erstellen eines Optimierungsprogramms, Stahl und Eisen 89 (1969) 20, S. 1112 f.

Lebenslauf

15. April 1946	Geboren in Ansfelden/Österreich als einziges Kind des Maurers Franz Pree und seiner Ehefrau Therese, geb. Weidinger.
1952 - 1957	Besuch der Volksschule in Berg a. d. Krems und der Hauptschule in Haid/Ansfelden.
Herbst 1957	Eintritt in das 1. Bundesgymnasium in Linz/Donau.
Juni 1965	Reifeprüfung am 2. Bundesrealgymnasium in Linz.
1965/66	Studium der Rechtswissenschaften an der Universität Wien.
Wintersemester 1966	Beginn des Studiums der Betriebswirtschaftslehre an der Hochschule für Sozial- und Wirtschaftswissenschaften in Linz/Donau.
Ab Wintersemester 1968	Mitarbeit am Lehrstuhl für Fertigungswirtschaft und Betriebliche Systemforschung an der Hochschule Linz als wissenschaftliche Hilfskraft.
Januar 1971	Diplom-Examen zum Magister der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften (Mag. rer. soc. oec.) mit Auszeichnung bestanden.
Ab Februar 1971	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Betriebs- und Wirtschaftsinformatik (Prof. Dr. P. Mertens) an der Universität Erlangen-Nürnberg.